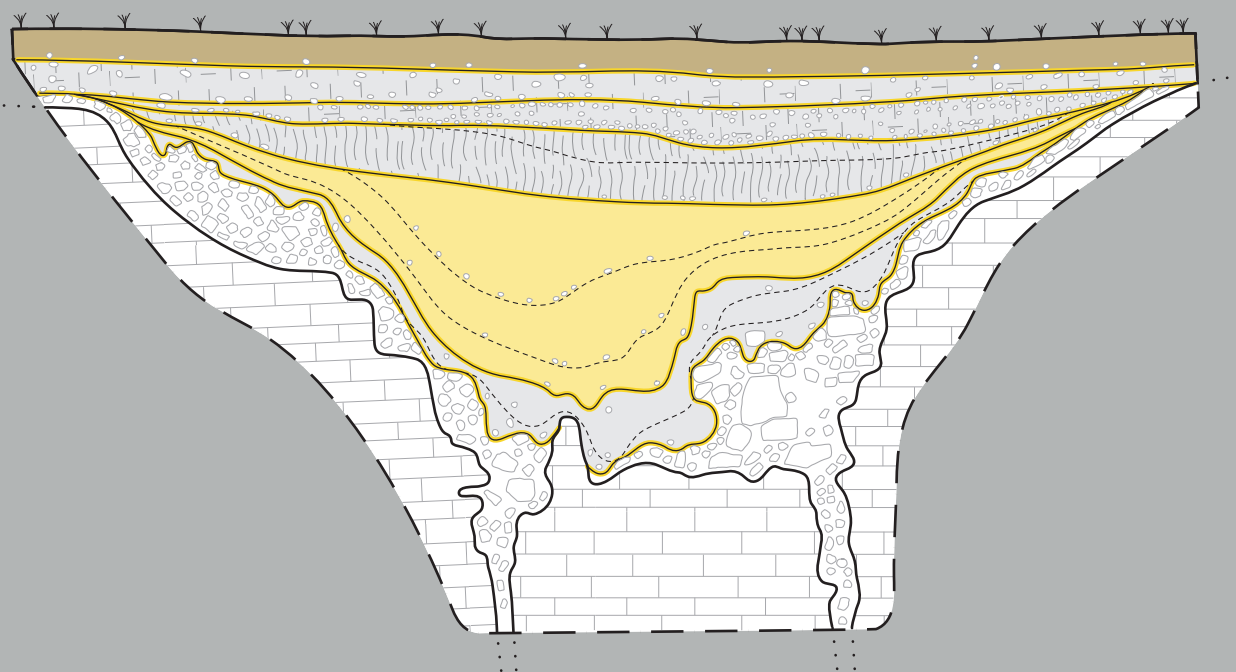


Dolines quaternaires

# Études spécialisées

Michel Guélat  
Julien Oppliger  
Werner Müller  
Jean Detrey  
Denise Leesch  
Willy Tegel  
Damien Becker  
Vincent Friedli



CPPJ – A16

Catalogues du patrimoine  
paléontologique jurassien – A16

2018



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Bundesamt für Strassen ASTRA  
Office fédéral des routes OFROU  
Ufficio federale delle strade USTRA  
Uffizi federal da vias UVIAS  
Federal Roads Office FEDRO



**JURA** CH RÉPUBLIQUE ET CANTON DU JURA

DÉPARTEMENT DE LA FORMATION, DE LA CULTURE ET DES SPORTS

OFFICE DE LA CULTURE  
SECTION D'ARCHÉOLOGIE ET PALEONTOLOGIE  
**PALEONTOLOGIE A16**

Basée à Porrentruy, la Paléontologie A16 est financée par l'Office fédéral des routes (OFROU) et par la République et Canton du Jura. Sa mission se concentre sur le tracé A16 de 24,675 km de long, comprenant les sections autoroutières situées entre Boncourt et Porrentruy, ainsi qu'entre Delémont et Choindez. Sa mission principale consiste à documenter les nombreuses découvertes mises au jour et l'exploitation scientifique des données, la gestion de la documentation et des collections ainsi que la transmission de l'ensemble de cet héritage à la République et Canton du Jura.

Dolines quaternaires

# Études spécialisées

Michel Guélat  
Julien Oppliger  
Werner Müller  
Jean Detrey  
Denise Leesch  
Willy Tegel  
Damien Becker  
Vincent Friedli

Sous la direction de  
Wolfgang Alexander Hug  
Vincent Friedli  
Jean-Paul Billon-Bruyat



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Bundesamt für Strassen ASTRA  
Office fédéral des routes OFROU  
Ufficio federale delle strade USTRA  
Uffizi federal da vias UVIAS  
Federal Roads Office FEDRO



**JURA** CH **RÉPUBLIQUE ET CANTON DU JURA**

DÉPARTEMENT DE LA FORMATION, DE LA CULTURE ET DES SPORTS

OFFICE DE LA CULTURE  
SECTION D'ARCHÉOLOGIE ET PALÉONTOLOGIE  
**PALÉONTOLOGIE A16**

### Publié avec le concours du

Département de la formation, de la culture et des sports  
et du Département de l'environnement de la République et Canton du Jura.

### Recherches et rédaction

Office de la culture  
Paléontologie A16  
Hôtel des Halles  
Case postale 64  
CH-2900 Porrentruy 2  
Tél. 032 420 84 00  
secrecc@jura.ch  
www.jura.ch/occ

### Révision, maquette, mise en pages et impression

Vincent Friedli, Marie-Claude Farine et Simon Maître.

### Code de citation préconisé

Guélat M., Oppliger J., Müller W., Detrey J., Leesch D., Tegel W., Becker D. & Friedli V. 2018 :  
*Dolines quaternaires – Études spécialisées*. Office de la culture – Paléontologie A16,  
Porrentruy, 108 p. (Catalogues du patrimoine paléontologique jurassien – A16).

### Documents annexes

Ce volume comprend une liasse (avec les plans 1 à 39), qui est accessible en ligne sur  
le site de la Section d'archéologie et paléontologie ([www.jura.ch/occ/sap](http://www.jura.ch/occ/sap)).

La Collection des Catalogues du patrimoine paléontologique jurassien – A16 est  
publiée sous les auspices de l'Office de la culture de la République et Canton du Jura.  
La Collection documente les nombreuses découvertes en provenance de l'A16 et leur  
exploitation scientifique.

© décembre 2018  
Office de la culture  
Paléontologie A16  
Porrentruy

ISSN 2504-4745  
ISBN 978-2-88436-057-9



## Avant-propos

Basée à Porrentruy, la Paléontologie A16 est un projet pilote de paléontologie autoroutière, financé à hauteur de 95% par l'Office fédéral des routes et de 5% par la République et Canton du Jura. Sa mission, de 2000 à 2018, se concentre sur le tracé de la route nationale A16 Transjurane, long de 24,675 km. La Paléontologie A16 a prospecté et fouillé 64 sites des sections autoroutières 1, 2, 3, 7 et 8 entre Boncourt et Porrentruy – principalement sur le plateau de Courtedoux – ainsi qu'entre Delémont et Choindez. Les découvertes paléontologiques sont le fruit de cette activité de terrain de grande envergure, avec des fouilles contrôlées menées de 2005 à 2011, grâce au soutien financier conséquent de l'Office fédéral des routes. La mission principale de la Paléontologie A16 consiste à sauvegarder ces nombreuses découvertes, à les documenter, les gérer en collection, les exploiter scientifiquement et, finalement, transmettre l'ensemble de cet héritage à la République et Canton du Jura.

Dans ce cadre, les *Catalogues du patrimoine paléontologique jurassien – A16* ont été créés sur une idée originale de Wolfgang A. Hug, responsable de l'équipe Paléontologie A16 de 2002 à 2016. Ils sont réalisés par la Paléontologie A16 et publiés sous les auspices de l'Office de la culture de la République et Canton du Jura.

Le but de ces catalogues est de présenter les principales découvertes paléontologiques A16 et leur documentation exhaustive et inédite, en particulier pour les sites à traces de dinosaures. Ils accompagnent ainsi l'inventaire de la collection physique de la Paléontologie A16 et ses quelque 65 000 objets répertoriés (fossiles, sédiments, minéraux, etc.). De plus, en facilitant l'accès à une sélection d'objets phares, ces catalogues sont une porte d'entrée vers les découvertes paléontologiques A16 pour la communauté scientifique. La diffusion de la série complète des catalogues en format papier est limitée, mais une version électronique est disponible en ligne et en libre accès.

Les thèmes couverts par les catalogues correspondent aux principales études menées par la Paléontologie A16. Les couches géologiques de trois grandes périodes traversées par l'A16 ont déterminé la nature des découvertes et donc des études. Pour le Mésozoïque, il s'agit en particulier des traces de dinosaures, des vertébrés et des invertébrés marins mis au jour dans les calcaires et les marnes du Jurassique supérieur (Oxfordien et Kimméridgien). Pour le Cénozoïque, il s'agit essentiellement des faunes de mammifères et de microfossiles de la Molasse (Éocène, Oligocène et Miocène) et des faunes de mammifères des dolines à la fin du Cénozoïque (Pléistocène).

Les données cataloguées sont présentées de manière synthétique, synoptique et richement illustrée (fossiles, localités, coupes géologiques, méthodologie de fouille, etc.). Les coordonnées spatiale et temporelle de chaque objet sont précisément indiquées; la détermination de chaque fossile reste fonction de l'état actuel des connaissances. Les catalogues documentent aussi certaines analyses menées, sous forme de mandats, par des instituts externes.

Les *Catalogues du patrimoine paléontologique jurassien – A16* sont le reflet de la devise de la Paléontologie A16: Sauvegarder, Étudier, Transmettre. Qu'ils soient utiles pour la mémoire de cette activité unique, pour de futures études scientifiques et pour la gestion pérenne de ce patrimoine – d'importance nationale –, dont la responsabilité incombe à la République et Canton du Jura.

Merci à toutes les collaboratrices et à tous les collaborateurs de l'équipe de la Paléontologie A16: ces catalogues constituent un bel aboutissement de votre engagement.

Porrentruy, le 31 mai 2017

Jean-Paul Billon-Bruyat  
Responsable de la Paléontologie A16



## Table des matières

Avant-propos .....	3
Table des matières .....	5
Prolégomènes .....	7
1    Micromorphologie .....	15
2    Micromammifères .....	61
3    Megafaunal remains .....	77
4    Archaeological remains .....	89
5    Charbons .....	101
Crédits .....	107



## Prolégomènes

Les contributions rassemblées dans ce *Catalogue du patrimoine paléontologique jurassien – A16* sont des compléments à la série d'articles évoqués ci-après (*Contexte*). Elles trouvent leur origine dans les données de terrain issues des fouilles archéologiques et paléontologiques des remplissages des dolines ajoulotes. Ces contributions sont indépendantes les unes des autres et portent sur des approches multidisciplinaires couvrant un spectre assez large de thématiques, tant archéologiques que paléontologiques ou sédimentologiques. Mais un fil conducteur apparaît sous cette diversité : l'évolution écologique et environnementale de l'Ajoie durant le Pléistocène supérieur et l'Holocène.



## Contexte

Le plateau karstique d'Ajoie (Jura, Suisse) est parsemé de nombreuses dolines dont les remplissages sédimentaires correspondent grossièrement à l'enregistrement des 100 000 dernières années de l'histoire régionale. Certaines dolines ont en particulier fonctionné comme des pièges naturels à restes de grands mammifères et mettent en évidence le fameux complexe faunique *Mammuthus-Coelodonta* de Kalkhe (1999), dont *Mammuthus primigenius* (mammouth laineux) et *Coelodonta antiquitatis* (rhinocéros laineux) ont donné leurs noms pour caractériser l'assemblage mammalien adapté aux conditions froides du Pléistocène.

Le corpus fossilifère de cette assemblage est représenté par quatre espèces principales de grands mammifères: deux mégaherbivores (> 1000 kg), le mammouth laineux (*Mammuthus primigenius*) et le rhinocéros laineux (*Coelodonta antiquitatis*), ainsi que deux grands herbivores brouteurs (> 100 kg), le cheval des forêts (*Equus germanicus*), bien que pas uniquement

forestier, et le bison des steppes (*Bison priscus*). Quelques macrorestes attribués à des Cervidae (*Megaloceros*, p. ex.) ou à des Carnivora (*Ursus*, p. ex.), ainsi que de nombreux spécimens osseux indéterminables viennent compléter le corpus des grands mammifères découverts dans les dolines. Le matériel dentaire de *M. primigenius* et d'*E. germanicus*, ainsi que l'ensemble des restes attribués à *C. antiquitatis* et *B. priscus* ont été étudiés respectivement par Rothen et al. (2012), Savoy et al. (2013), Becker et al. (2015) et Dini (2016). Une étude particulière a aussi été menée sur des restes dentaires assez exceptionnels de siciste des bouleaux (*Sicista betulina*; Oppliger & Becker 2010).

Un certain nombre d'études parallèles ont permis la reconstruction du cortège faunique et du paléoenvironnement ajoutot du Pléistocène supérieur. Becker et al. (2009 et 2013) de même que Scherler et al. (2014) ont ainsi démontré que le plateau ajoutot était, au Pléistocène supérieur, un environnement ouvert, composé d'une steppe herbacée avec de petits bosquets.

ka cal.BP	Période	Époque	Chrono-stratigraphie	SIM	Biozone	Alle-Noir Bois (Aubry et al. 2000)	Remplissages des vallées sèches (Braillard 2006 et 2009)	Remplissages des dolines de la combe de Vâ Tche Tchâ (Becker et al. 2013)
0								
		Holocène	Moderne			E1 Horizon agricole	E1 Horizon agricole	D1 Sols forestiers ou agricoles actuels
			Moyen Âge	1	MNQ27	E2 Colluvions agricoles	E2 Colluvions et alluvions humifères	D2/3 Colluvions brunifiées, humifères et charbonneuses, et sols protohistoriques humifères
			Gallo-romain Protohistoire			E3 Colluvions brunifiées et humifères, et sols protohistoriques	E3 Colluvions et alluvions humifères	
10			Holocène ancien			E4 Limons loessiques supérieurs micacés, bioturbés et remaniés, affectés par la pédogenèse	E4 Loess remaniés et affectés par la pédogenèse	D4 Colluvions limoneuses et argileuses affectées par la pédogenèse
11,7						E5 Cailloutis géliflué calcaire à matrice loessique	E5 Alluvions et grèzes litées	D5 Cailloutis calcaire géliflué à matrice loessique
			Tardi-glaciaire supérieur	2		E6 Loess francs à mollusques marqués par l'hydromorphie et par le gel		
19						Horizon légèrement humifère		
20								
28								
30								
40								
50								
60								
70								
75								
80								
90								
100								
110								
115								

Stratigraphie synthétique des dépôts quaternaires rencontrés en Ajoie. Chronostratigraphie d'après Van Vliet-Lanoë et Guillocheau (1995), stades isotopiques marins (SIM) d'après Svensson et al. (2006), biozones (MNQ) d'après Guérin (1982 et 1989).

## Stratigraphie et datations

Les bases de la stratigraphie de référence pour le Pléistocène supérieur d'Ajoie ont été établies par Aubry et al. (2000) à l'occasion de l'étude du gisement moustérien d'Alle-Noir Bois, à l'est de Porrentruy, puis complétées par Braillard (2006 et 2009) dans le contexte de l'étude stratigraphique détaillée des remplissages quaternaires des vallées sèches de la Haute-Ajoie.

Bien que ces deux découpages chronolithostratigraphiques soient légèrement différents, car issus de contextes dépositionnels propres, à caractère local, ils permettent dans leurs grandes lignes une bonne corrélation avec les séquences loessiques weichséliennes du Fossé rhénan (Antoine et al. 2001). Sur la base des remplissages de dolines de la combe de Vâ Tche Tchâ (Becker et al. 2013), la séquence sédimentaire enregistrée dans les dolines ajolotes est subdivisée en plusieurs ensembles chronolithostratigraphiques, selon une nomenclature analogue à celle proposée par Aubry et al. (2000), Guélat (2005) et Braillard (2006 et 2009) (cf. tableau en page précédente).

Doline	Numéro	Âge (cal. BP)	Ensemble
Sylleux	C-L1051	33 300 ± 5800	D6
Vâ Tche Tchâ V6	L2196	38 300 ± 7000	D6
Vâ Tche Tchâ V14	L2190	38 600 ± 7100	D6
Vâ Tche Tchâ V2	L2198	42 800 ± 5500	D6
Vâ Tche Tchâ V6	L2194	42 900 ± 5300	D6
Vâ Tche Tchâ V6	L2195	44 300 ± 7000	D6
Vâ Tche Tchâ V14	L2189	50 900 ± 6400	D7
Sylleux	C-L1049	64 900 ± 20 100	D7
Grandes Combes	C-L1397	65 000 ± 9000	D7
Grandes Combes	C-L1398	78 000 ± 11 000	D8
Vâ Tche Tchâ V6	L2192	82 500 ± 11 900	D8
Vâ Tche Tchâ V6	L2191	93 700 ± 14 200	D8
Sylleux	C-L1050	100 600 ± 20 700	D8

Dates OSL des dolines de Courtedoux-Vâ Tche Tchâ (VTA), Courtedoux-Sylleux (SYL) et Boncourt-Grandes Combes (GC) (Scherler et al. 2014; Becker et al. 2015).

Les ensembles sédimentaires fossilifères (D6-D8 ou équivalents) ont été calés chronologiquement par radiocarbone, par thermo-luminescence (TL), par luminescence optiquement stimulée (OSL, *Optically Stimulated Luminescence*) ou par des corrélations lithostratigraphiques (Aubry et al. 2000; Braillard 2006; Becker et al. 2013 et 2015). Les datations  $^{14}\text{C}$  effectuées sur les tests de gastéropodes (*Arianta arbustorum* var. *alpicola*), sur un fragment de charbon, ainsi que sur un os de mammoth indiquent un intervalle chronostratigraphique entre 44 000 et 34 500 cal. BP pour les dolines V1, V2 de Courtedoux-Vâ Tche Tchâ et du Sylleux (Laboratoire de l'Université d'Uppsala, Suède; cf. tableau ci-dessous à droite). Pour les dolines V2, V6, V14 et du Sylleux, les datations OSL attribuent les niveaux fossilifères à une période située entre 51 300 BP et 31 300 BP (Département de géographie de l'Université de Cologne, Allemagne; cf. tableau ci-dessous à gauche), soit au Pléistocène supérieur. La faune pléistocène, découverte dans la Bâme de Courtemaîche, a été datée au radiocarbone à partir d'un fragment d'os à >42 000 cal. BP (Morel & Schifferdecker 1997; Laboratory of Ion Beam Physics, ETH Zürich; cf. tableau ci-dessous à droite). La datation TL effectuée sur des dépôts de pente d'Alle-Noir Bois située à 28 500 ± 1600 BP les restes de rhinocéros laineux découverts (Institut de géographie, géomorphologie, Université de Bayreuth, Allemagne; cf. tableau ci-dessous à gauche). Les analyses OSL datent entre 57 000 ± 8 000 et 50 900 ± 9000 le niveau fossilifère de la doline de Combe Ronde à Chevenez et entre 78 000 ± 11 000 et 65 000 ± 9000 celui de la doline de Grandes Combes à Boncourt (Département de géographie de l'Université de Cologne, Allemagne).

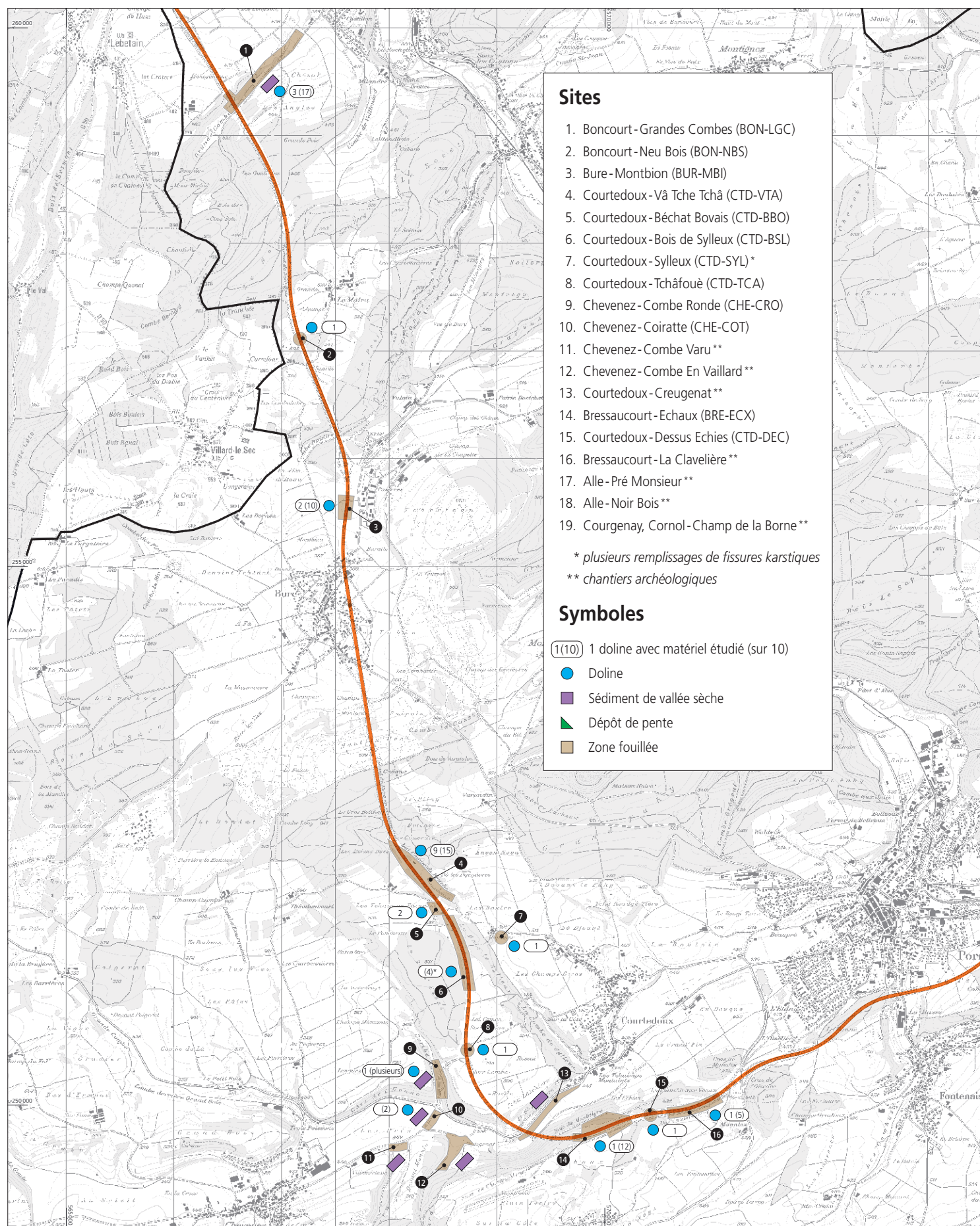
Doline	Numéro	Âge (cal. BP)	Ensemble
Sylleux	Ua-16438 (os)	34 500 - 37 500	D6
Vâ Tche Tchâ V1	Ua-36664 (charbon)	36 500 - 39 000	D6
Vâ Tche Tchâ V2	Ua-33122 (gastéropode)	37 000 - 39 500	D6
Vâ Tche Tchâ V1	Ua-36668 (gastéropode)	40 000 - 43 000	D6
Vâ Tche Tchâ V2	Ua-33123 (gastéropode)	41 000 - 44 000	D6

Dates  $^{14}\text{C}$  des dolines de Courtedoux-Vâ Tche Tchâ (VTA) et Courtedoux-Sylleux (SYL) (Scherler et al. 2014; Becker et al. 2015).



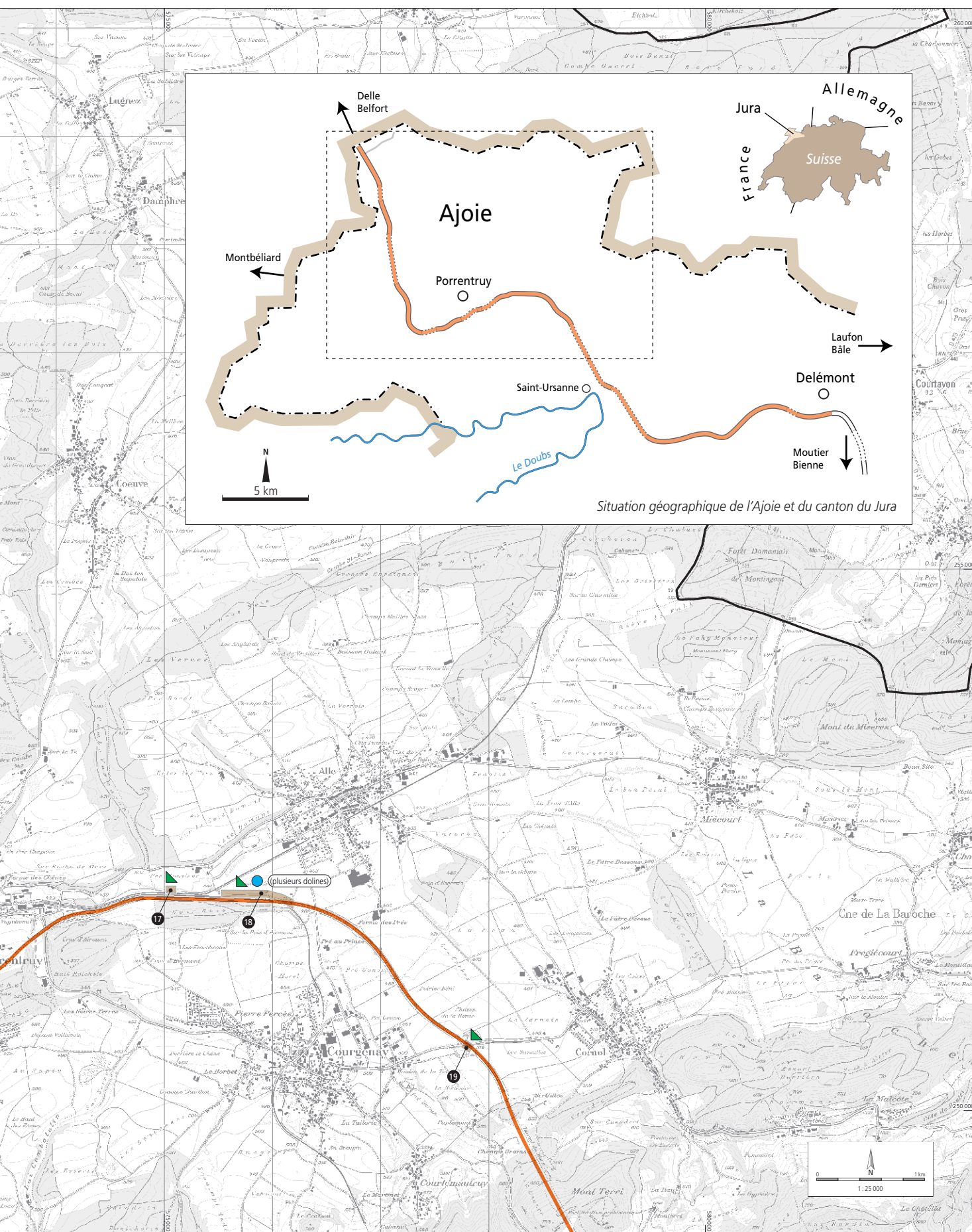
## Orientations bibliographiques

- Antoine P., Rousseau D.-D., Zöller L., Lang A., Munaut A.-V., Hatté C. & Fontugne M. 2001: High-resolution record of the last Interglacial-glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequendes, Upper Rhine Area, Germany. *Quaternary International* 76-77, 211-229.
- Aubry D., Guélat M., Detrey J. & Othenin-Girard B. 2000: *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Cahier d'archéologie jurassienne 10, 176 p.
- Becker D., Aubry D. & Detrey J. 2009: Les dolines du Pléistocène supérieur de la combe de « Vâ Tche Tchâ » (Ajoie, Suisse): un piège à restes de mammifères et artefacts lithiques. *Quaternaire* 20.2, 123-137.
- Becker D., Dini M. & Scherler L. 2015: Rhinocéros laineux du Pléistocène supérieur d'Ajoie (Canton du Jura, Suisse): description anatomique et implications écologiques. *Revue de Paléobiologie* 34.1, 27-44.
- Becker D., Oppliger J., Thew N., Scherler L., Aubry D. & Braillard L. 2013: Climat et écologie en Ajoie durant la seconde partie du Pléniglaciaire moyen weichsélien: apport des remplissages des dolines de Courtedoux-Vâ Tche Tchâ (Jura, CH). In: Richard A., Schifferdecker F., Mazimann J.-P. & Bélet-Gondat C. (dir.): *Le peuplement de l'Arc jurassien de la Préhistoire au Moyen Âge*. Actes des deuxièmes journées archéologiques frontalières de l'Arc jurassien, Delle (F)–Boncourt (CH), 16-18 novembre 2007. Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté 916 et Cahier d'archéologie jurassienne 21, 13-23.
- Braillard L. 2006: *Morphogenèse des vallées sèches du Jura tabulaire d'Ajoie (Suisse): rôle de la fracturation et étude des remplissages quaternaires*. *Geofocus* 14, 224 p.
- Braillard L. 2009: Remplissages quaternaires et paléohydrologie des vallées sèches d'Ajoie (Jura tabulaire, Suisse). *Geographica Helvetica* 64.3, 148-156.
- Dini M. 2015: *Étude des restes de Bison priscus provenant des remplissages pléistocènes des dolines d'Ajoie*. Master inédit, Université de Fribourg, 159 p.
- Guélat M. 2005: Le Quaternaire dans le canton du Jura. *Actes de la Société jurassienne d'Émulation* 108, 9-31.
- Guérin C. 1982: Première biozonation du Pléistocène européen, principal résultat biostratigraphique de l'étude des Rhinocerotidae (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pléistocène supérieur d'Europe occidentale. *Geobios* 15.4, 593-598.
- Guérin C. 1989: Biozones or mammal units? Methods and limits in biochronology. In: Lindsay E.H., Fahlbusch V. & Mein P. (eds): *European Neogene Mammal Chronology*. NATO Advanced Science Institutes Series, Life Sciences 180, 119-130.
- Kahlke R.-D. 1999: *The history of the origin, evolution and dispersal of the Late Pleistocene Mammuthus-Coelodonta faunal complex in Eurasia (large mammals)*. Mammoth Site, Hot Springs (South Dakota), 219 p.
- Oppliger J. & Becker D. 2010: Morphometrical analyses of Northern Birch Mice (*Sicista betulina* Pallas, 1779; Mammalia; Rodentia) discovered in a rich locality from the Late Pleistocene of northwestern Switzerland. *Comptes Rendus Palevol* 9, 113-120.
- Rothen J., Becker D. & Berger J.-P. 2012: Morphométrie des dents jugales du mammoth laineux (*Mammuthus primigenius*) découvertes dans les remplissages pléistocènes de dolines d'Ajoie (Jura, Suisse). *Actes de la Société jurassienne d'Émulation* 114, 17-36.
- Savoy J., Scherler L. & Becker D. 2013: Variabilité morphologique et biométrique des dents d'*Equus germanicus* des dolines pléistocènes d'Ajoie (Jura, Suisse). *Actes de la Société jurassienne d'Émulation* 115, 17-36.
- Scherler L., Tütken T. & Becker D. 2014: Carbon and oxygen stable isotope compositions of late Pleistocene mammal teeth from dolines of Ajoie (Northwestern Switzerland). *Quaternary Research* 82.2, 378-387.
- Svensson A., Andersen K.K., Bigler M., Clausen H.B., Dahl-Jensen D., Davies S.M., Johnsen S.J., Muscheler R., Rasmussen S.O., Röthlisberger R., Steffensen J.P. & Vinther B.M. 2006: The Greenland Ice Core Chronology 2005, 15-42 ka. Part 2: comparison to other records. *Quaternary Science Reviews* 25.23-24, 3258-3267.
- Van Vliet-Lanoë B. & Guillocheau F. 1995: Évolution de l'enregistrement pédosédimentaire depuis 150 ka en France du NW et en Belgique: biorhexistasie et bilans sédimentaires. *Comptes Rendus de l'Académie des sciences (série IIa)* 320.5, 419-426.



Plan avec l'emplacement des sites pris en compte dans l'étude des dolines d'Ajoie (voir aussi le plan 1 de la liasse).







# 1

## Étude micromorphologique de remplissages de dolines de Courtedoux (JU)

Michel Guélat



## 1.1 Introduction

Cette étude a été réalisée à la demande de la Section d'archéologie et paléontologie de l'Office de la culture de la République et Canton du Jura, en lien avec les travaux de sauvetage sur le tracé de l'autoroute A16. Le mandat se rapporte aux recherches de terrain réalisées sur le territoire communal de Courtedoux, aux lieux-dits Vâ Tche Tchâ, Béchat Bovais et Sylleux. D'anciennes dolines à remplissage bien stratifié ont en effet été découvertes sur ces trois sites et des échantillons de sédiments y ont été prélevés en vue d'une analyse micromorphologique. Cette technique permet de préciser les dynamiques de mise en place et l'évolution pédogénétique des sédiments. Le but principal de l'étude consiste en la reconstitution des conditions locales lors du comblement de ces dolines fossiles. En intégrant les différentes phases évolutives, une insertion chronostratigraphique des dépôts composant leur remplissage peut ensuite être proposée. Enfin, les éventuelles traces d'occupation humaine seront, le cas échéant, précisément identifiées.

## 1.2 Méthode

### 1.2.1 Technique d'analyse

La micromorphologie consiste en un examen microscopique de sédiments meubles, durcis par de la résine synthétique. Pratiquement, sur le terrain, des blocs orientés de sédiments non perturbés sont prélevés au sein des couches à analyser, dans des coupes stratigraphiques. Le traitement en laboratoire comprend tout d'abord un séchage à l'étuve, puis une induration sous vide grâce à de la résine époxyde liquide. Après polymérisation de cette résine, l'échantillon est débité en plaques d'environ 1 cm d'épaisseur à l'aide d'une scie diamantée. À partir de ces tranches, des talons au format 4,5 x 4,5 cm et 4 x 6 cm sont découpés pour la fabrication des lames minces. L'analyse de ces dernières s'effectue par utilisation conjointe d'une loupe binoculaire équipée pour la polarisation et d'un microscope polarisant à grossissement maximal de 630 fois.

### 1.2.2 Forme des résultats

Dans le but de rendre les résultats de l'analyse micromorphologique facilement accessibles, ils sont présentés, pour chaque échantillon, sous la forme de plusieurs rubriques :

*Coordonnées.* Il s'agit de la position stratigraphique du prélèvement, selon la documentation de terrain existante<sup>1</sup>.

*Description de terrain.* Ce signalement du sédiment prélevé, parfois lacunaire, provient également de la documentation de terrain.

*Lame(s) mince(s).* Inventaire des lames fabriquées à partir de l'échantillon.

*Micromorphologie.* Les principales caractéristiques microscopiques sont décrites, sous forme résumée, selon les protocoles préconisés par Bullock et al. (1985), Courty et al. (1989) et Stoops et al. (2010). La terminologie pédologique se base sur le référentiel français (Baize et Girard 1995).

*Diagnostic.* L'interprétation des traits micromorphologiques s'appuie avant tout sur notre connaissance des faciès loessiques locaux acquise lors des études menées à Alle-Noir Bois (Guélat 1997 et 2000) et, de manière plus générale, lors des campagnes de sondages archéologiques en Ajoie (Masserey et al. 1987; Guélat 2006). Bien entendu, les travaux plus récents référencés en fin de chapitre contribuent aussi à ces diagnostics.

*Chronologie.* La technique utilisée, faut-il le rappeler, ne date pas à elle seule les sédiments. Elle permet en revanche de reconstituer la succession des événements pédosédimentaires et les conditions de milieu nécessaires à leur genèse. En intégrant, entre autres, les travaux antérieurs mentionnés ci-dessus, une insertion dans la chronostratigraphie régionale peut être proposée. Est également indiquée la correspondance avec les stades isotopiques marins MIS<sup>2</sup> (Lisiecki et Raymo 2005). Enfin, la stratigraphie événementielle INTIMATE<sup>3</sup> (Rasmussen et al. 2014) a servi de référence pour le calage donné en milliers d'années avant le présent (ka BP), qui ne concerne que la ou les phase(s) de mise en place du dépôt.

### 1.2.3 Options et limites de la recherche

Quelques remarques encore avant d'entrer dans le vif du sujet.

Tout d'abord, nous n'avons pas pris part aux travaux de terrain et, par conséquent, nous n'avons pas eu l'occasion d'observer les coupes dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés. Ceux-ci ont en effet été récoltés par plusieurs intervenants<sup>4</sup>, rarement de manière systématique au sein d'un même profil. Nous sommes conscient que, suite aux impératifs liés à l'avancement des chantiers autoroutiers, cette opération ne se réalise pas toujours dans les conditions idéalement souhaitées. Autrement dit, l'échantillonnage est plutôt dispersé, ce qui peut rendre délicates l'interprétation phénoménologique et la prise en compte des facteurs stationnels. Il en découle que, d'une part, cette approche a un caractère quelque peu disparate et que, d'autre part, certains aspects de la problématique ne peuvent être abordés<sup>5</sup>.

1 Soit les coupes et autres indications transmises par Nigel Thew et, dans une moindre mesure, les rapports inédits de la série « Archéologie et Transjurane » (Paupe et al. 1999; Paupe et al. 2000; Stalder et al. 2000; Stalder et al. 2001).

2 MIS : Marine Isotopic Stages.

3 INTIMATE : INTEgration of Ice-core, MARine and TERrestrial records.

4 Les relevés de terrain et l'échantillonnage ont en grande partie été effectués par les géologues Denis Aubry et Luc Braillard, ex-collaborateurs de la Section d'archéologie et paléontologie.

5 Par exemple, la mise en évidence des dynamiques sédimentaires à une échelle un peu plus large que celle des dolines.

Ensuite, les conditions-cadres d'une telle étude, du point de vue des délais et du financement, exigent que ses limites soient au départ clairement définies. Dans un premier temps, suivant la demande du mandant, des lames minces complémentaires ont été fabriquées à partir d'échantillons jugés importants, le corpus disponible s'élevant ainsi à 89 unités au total. Toutes ces lames minces ont subi une évaluation sous microscope concernant la conservation des sédiments, les principaux traits micromorphologiques et leur intérêt scientifique. Suite à ce premier examen, les sédiments holocènes ont d'emblée été laissés de côté, car l'étude se focalise sur la dernière glaciation.

De même, les cas très complexes et donc chronophages, n'apportant pas de complément indispensable, ont également été écartés. Au final, le corpus retenu comprend 46 lames minces, représentant la totalité des échantillons issus des trois sites de Courtedoux (Annexe 1 – Inventaire des lames minces).

### **1.3 Analyse micromorphologique**

Les résultats de l'examen microscopique sont présentés par site, en respectant l'ordre défini aux pages 12 et 13 (voir aussi le plan 1 de la liasse).

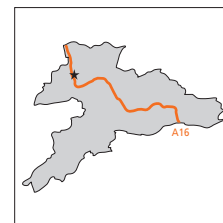


## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V1

**CTD-VTA-V1 PLV435**

Plans 2, 3 et 4

**Coordonnées:** couche 6, altitude 519,40 m**Description:** silts assez argileux, gris-vert, avec gastéropodes**Lame mince:** une petite lame (2 x 4 cm), de mauvaise qualité**Micromorphologie****Sédiment:** silts sableux très mal classés, brun-gris clair**Porosité:** faible (10-15 %)**Microstructure:** à chenaux et chambres**Composants:** fraction sableuse: calcaires et calcitiques, subarrondis, parfois fissurés, avec biosphéroïdes, bioclastes et fragments de coquilles de mollusques (quaternaires); fraction silteuse: quartz anguleux et phyllosilicates altérés, pas de grain calcaire**Matrice:** les argiles, peu abondantes, comprennent de la matière organique fine, parfois microlitée**Traits pédologiques:** boulettes argilo-silteuses arrondies; revêtements de pores carbonatés, intégrés à la matrice par bioturbation; racines**Diagnostic**

(Sous réserve, vu la lame médiocre.) Lœss partiellement colluviés ou géliflués, un peu altérés

Une phase de déformation, due à un affaissement par sous-tirage karstique, a tout d'abord eu lieu après leur mise en place

Puis, dans l'ordre chronologique, le gel, l'altération, la précipitation de carbonates illuviaux (recharge du profil en calcaire) et enfin la bioturbation ont marqué ces sédiments

**Chronologie**

Mise place au Pléniglaciaire moyen (MIS 3c-3b), environ 60-40 ka BP, déformation plus tardive (MIS 3a)

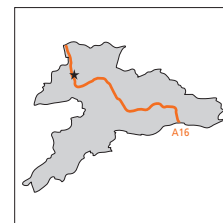
Fissuration au Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b), altération et illuviation de carbonates dès le Tardiglaciaire (MIS 2a)

## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V2

## CTD-VTA-V2 M1

Plans 2, 5, 6 et 7



Coordonnées: sondage S2-1442, couche 6, altitude 519,85 m

Description: silts gris olive

Lames minces: M1.1 et M1.2

**Micromorphologie****Sédiment:** silts fins, faiblement argileux, bien classés, structurés en lits granoclassés (mm-cm) à stratification oblique; couleur gris-jaune olive (fig. 1)**Porosité:** très faible (5 %), fissures et chenaux**Microstructure:** massive, à rares chenaux**Composants:** fraction silteuse de spectre loessique**Matrice:** argileuse, peu abondante**Traits pédologiques:** certains lits de particules sont imprégnés par des oxydes de fer (indice d'émersion temporaire); racines**Diagnostic**

Loess déposés par décantation sous une tranche d'eau probablement peu profonde

Contexte froid et steppique; puis faible altération de type décarbonatation, libérant des argiles

**Chronologie**

Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b); environ 29-17 ka BP

Altération dès le Tardiglaciaire

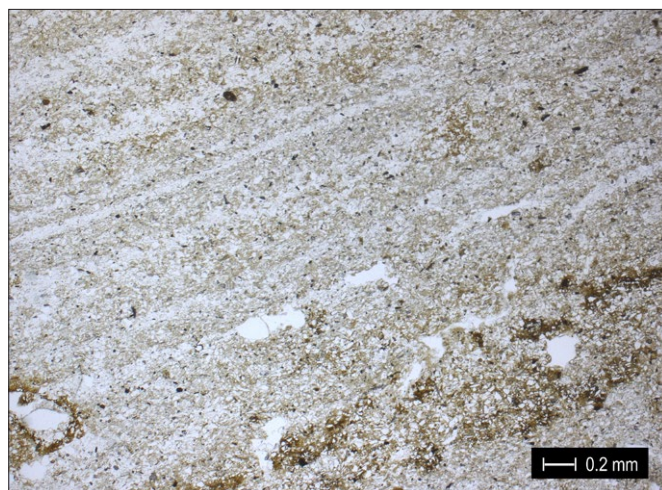


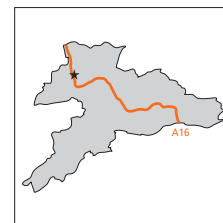
Fig. 1. Loess du Pléniglaciaire supérieur dans la doline V2 de Vâ Tche Tchâ. Les microlites granoclassés, à pendage oblique, indiquent une mise en place par décantation, sous une tranche d'eau (lame CTD-VTA-V2-M1.1).

## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V2

**CTD-VTA-V2 M2**

Plans 2, 5, 6 et 7

**Coordonnées:** sondage S2-1442, couche 6a, altitude 519,00m**Description:** silts brun-vert**Lames minces:** M2.1 et M2.2**Micromorphologie****Sédiment:** silts limoneux bien classés, jaune clair verdâtre**Porosité:** très faible (5%), vides planaires et cavités polyconcaves**Microstructure:** fissurale**Composants:** rares grains sableux (bioclastes siliceux): fraction silteuse de spectre loessique, un peu altérée**Matrice:** argileuse, peu abondante**Traits pédologiques:** boulettes d'argiles brun-rouge, nodules concentriques d'oxydes ferromanganiques; cisaillements dans la matrice (microfailles); bioturbation fossile, par larve de coléoptère**Diagnostic**

Loess peu évolués, un peu altérés et bioturbés, comprenant des éléments remaniés à partir de l'encaissant

Traces de gel et de déformation, mais peu marquées

**Chronologie**

Fin du Pléniglaciaire moyen (MIS 3a) et transition au Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d)

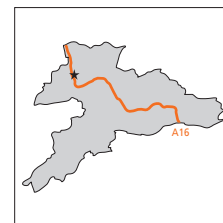
Environ 39-30 ka BP

## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V3

**CTD-VTA-V3 M1**

Plans 2, 9, 10 et 11

**Coordonnées:** sondage S2-1499, couche 6a2, altitude 540,80m**Description:** silts faiblement argileux, brun-jaune verdâtre, compacts**Lames minces:** M1.1 et M1.2**Micromorphologie****Sédiment:** silts fins, argileux, très bien classés, jaune-brun clair**Porosité:** faible (10%), fissures et vésicules**Microstructure:** prismatique « trapue » (Van Vliet-Lanoë 1988, p. 101), peu développée**Composants:** de spectre loessique, phyllosilicates un peu altérés**Traits pédologiques:** illuviation d'argiles limpides dans la porosité vésiculaire, recoupées par des fentes; nodules ferromanganiques, en majorité remaniés; revêtements poussiéreux dans les gros pores (trait tardif)**Diagnostic**

Loess en partie remaniés, comprenant des apports ponctuels à partir de l'encaissant

Conditions de dépôt humides et froides

Postérieurement: dans la partie supérieure, développement d'un horizon argilluvial rudimentaire, puis légère fissuration par le gel

**Chronologie**

Seconde partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2c-2b); environ 24-17 ka BP

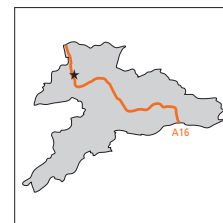
Évolution sur place dès le début du Tardiglaciaire (MIS 2a)

## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V3

## CTD-VTA-V3 M2

Plans 2, 9, 10 et 11

**Coordonnées:** sondage S2-1499, couche 6b, altitude 539,00 m**Description:** silts argileux brun verdâtre, friables**Lames minces:** M2.1 et M2.2**Micromorphologie****Sédiment:** silts argileux bien classés, jaune rouille; microlitage exprimé par endroits**Porosité:** faible (10 %)**Microstructure:** à chenaux et chambres**Composants:** de spectre loessique, phyllosilicates un peu altérés**Traits pédologiques:** argilanes limpides intégrées à la matrice, ou sous forme de boulettes; agrégats argileux arrondis, polyphasés; nodules ferromanganiques, en partie remaniés (fig. 2)**Remarque:** vers le haut du profil, les indices de colluvionnement disparaissent et le sédiment devient très bien classé, la teneur en argiles diminuant fortement**Diagnostic**

Colluvions loessiques, issues en partie de ruissellement sous conditions périglaciaires et remaniant ponctuellement des formations altéritiques plus anciennes. Elles passent graduellement vers le haut à des loess faiblement pédogénisés.

**Chronologie**

Pléniglaciaire moyen (MIS 3c-3b)

Environ 60-40 ka BP

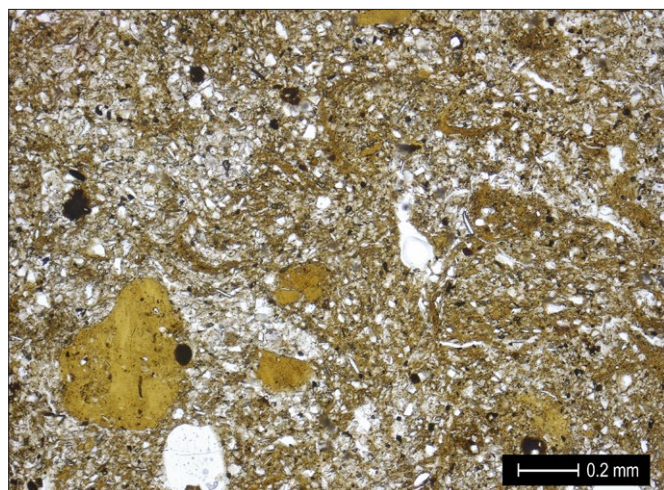


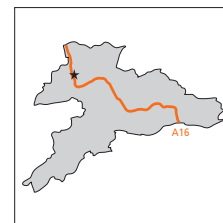
Fig. 2. Colluvions loessiques du Pléniglaciaire moyen, bioturbées, remaniant des agrégats argileux hérités du pédocomplexe interglaciaire (lame CTD-VTA-V3-M2.2).

## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V8

## CTD-VTA-V8 M1

Plans 2, 20, 21 et 22



Coordonnées: coupe 89, couche r26-2, altitude 524,25 m

Description: silts brun-rouge

Lames minces: M1.1 et M1.2

**Micromorphologie****Sédiment:** silts très argileux, un peu sableux, assez bien classés, brun rouille**Porosité:** faible (15%), fissures et cavités**Microstructure:** polyédrique angulaire**Composants:** grains sableux de quartz subanguleux à arrondis; rares charbons de bois de conifère, subanguleux; fraction silteuse de spectre loessique, à phyllosilicates altérés**Traits pédologiques:** argilanes limpides bien développées, un peu isoquées dans les cavités ou au sein de la matrice; nodules ferromanganiques concentrés sur des débris végétaux, probablement remaniés (fig. 3)**Remarque:** en général, la fissuration recoupe les argilanes, mais vers le haut du profil analysé, une illuviation d'argiles limpides, peu développée, apparaît également dans les fentes de gel, qui sont également mieux marquées**Diagnostic**

Formation silteuse d'origine loessique, montrant plusieurs phases d'illuviation d'argiles dont une est intégrée au fond matriciel

Il s'agit d'un horizon argilluvial polyphasé, déformé par effet du sous-tirage karstique, comportant également des traces de gel

**Chronologie**

De la fin du Glaciaire précoce (MIS 5b-5a) au début du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4)

Environ 90-70 ka BP

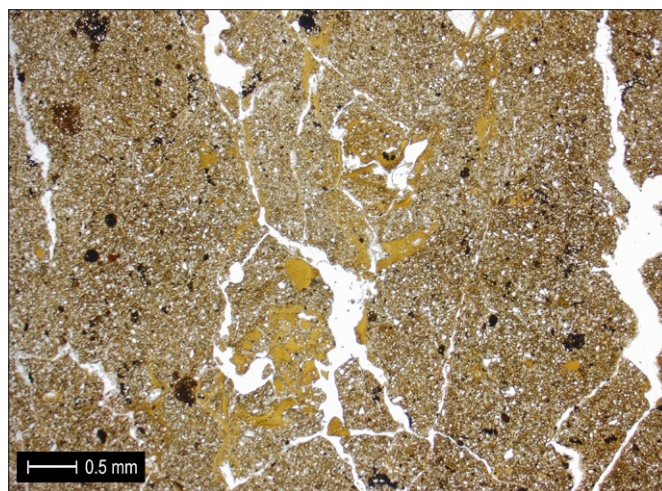


Fig. 3. Formation silteuse d'origine loessique montrant plusieurs phases d'illuviation d'argiles et déformée sous l'effet du sous-tirage karstique. Il s'agit du sédiment considéré dans l'étude comme le plus ancien, soit d'un âge postulé de 90-70 ka BP (lame CTD-VTA-V8-M1.1).

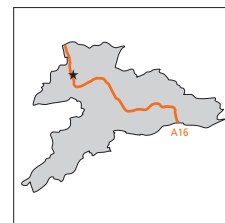


## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V8

## CTD-VTA-V8 M2

Plans 2, 20, 21 et 22

**Coordonnées:** coupe 89, couches r25-4 et r26-4, altitude 524,60 m**Description:** silts gris-vert brunâtre avec un peu de sables et de gravillons**Lames minces:** M2.1 et M2.2**Micromorphologie**

De la base au sommet, deux microcouches ont été distinguées :

**Microcouche 1****Sédiment:** silts fins, argileux, un peu sableux, bien classés; structurés en microlites granodécroissants vers le haut, à stratification oblique, un peu déformés; couleur jaune rouille (fig. 4)**Porosité:** faible (10 %), cavités et rares chenaux**Microstructure:** massive**Composants:** rares grains sableux de quartz vers la base; fraction silteuse de spectre loessique, peu altérée (décarbonatée)**Traits pédologiques:** revêtements d'oxydes ferromanganiques très développés dans la porosité, parfois disloqués; tout à la base, boulette argileuse remaniées de substrats plus anciens; racines**Microcouche 2:** (Limite abrupte avec la microcouche 2) silts fins, argileux, identiques à microcouche 1, mais plus poreux (15%), structurés en agrégats irréguliers, souvent déformés; le microlitage, peu apparent, paraît également déformé. Importantes imprégnations d'oxydes ferromanganiques, aussi bien dans les vides que dans le sédiment**Diagnostic**

Loess décantés, piégés dans une dépression souvent saturée en eau, mais à assèchement temporaire; climat froid; déformations souples due à des glissements et surcharges synsédimentaires; décarbonatation plus tardive

**Chronologie**

Pléniglaciaire supérieur; comme l'échantillon se positionne tout à leur base, ces loess de plus de 4 m d'épaisseur sont insérés dans la première partie du stade (MIS 2d), soit environ 29-24 ka BP; altération au début du Tardiglaciaire (MIS-2a)

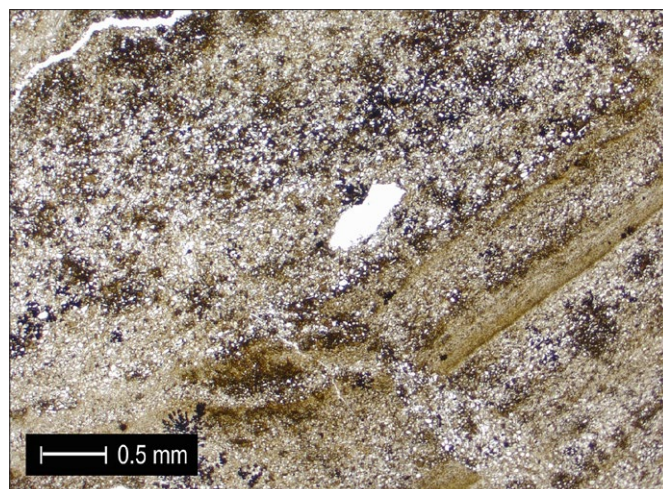


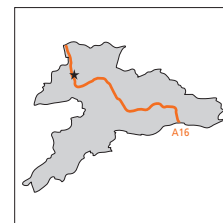
Fig. 4. Loess décantés, piégés dans une dépression souvent saturée en eau, mais à assèchement temporaire. Structurés en microlites granodécroissants vers le haut, à imprégnations d'oxydes ferromanganiques. Pléniglaciaire supérieur (lame CTD-VTA-V8-M2.2).

## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V8

## CTD-VTA-V8 M3

Plans 2, 20, 21 et 22



Coordonnées: coupe 89, couche r25-7, altitude 524,20m

Description: silts gris

Lames minces: M3.1 et M3.2

**Micromorphologie**

Silts un peu argileux, très faiblement sableux, de porosité très faible (5 %, vésicules) et de microstructure massive. Cinq niveaux ont été distingués, de la base au sommet :

**Microcouche 1**

**Sédiment:** silts jaune-orange, à litage mal exprimé, subdivisé en « plages » obliques, subverticales

**Composants:** biosphéroïdes calcitiques fragmentés; coquilles de mollusques quaternaires, entières ou fragmentées; fraction silteuse de spectre loessique carbonaté, un peu altéré (fig. 5)

**Traits pédologiques:** agrégats arrondis de matière organique, imprégnés par des oxydes ferromanganiques; fragments carbonisés

**Microcouche 2:** (en contact abrupt avec microcouche 1) identique à microcouche 1, dont provient cette unité par remaniement, mais le litage de particules y est mieux exprimé

**Microcouche 3:** (en contact net avec microcouche 2) silts très bien classés de couleur jaune clair, structurés en microlites granoclassés, à stratification oblique; la fraction silteuse contient 25 % de grains calcitiques, légèrement corrodés

**Microcouche 4:** (en contact abrupt avec microcouche 3) silts à boulettes organiques, déformés, comparables à ceux de la microcouche 1

**Microcouche 5:** (en contact abrupt avec microcouche 4) silts identiques à microcouche 3

**Diagnostic**

Formation loessique montrant une alternance entre deux faciès distincts: d'une part, des lits géliflués reprenant des sols très peu évolués (*microgleys*); d'autre part, des lits franchement loessiques, souvent décantés sous une tranche d'eau; milieu humide et froid; puis déformation due à un affaissement général du remplissage, en début de phase froide

**Chronologie**

De la fin Pléniglaciaire inférieur (MIS 4) au début du Pléniglaciaire moyen (MIS 3c); environ 60-54 ka BP

Déformation à la transition vers le Pléniglaciaire supérieur (MIS 3a-2d)

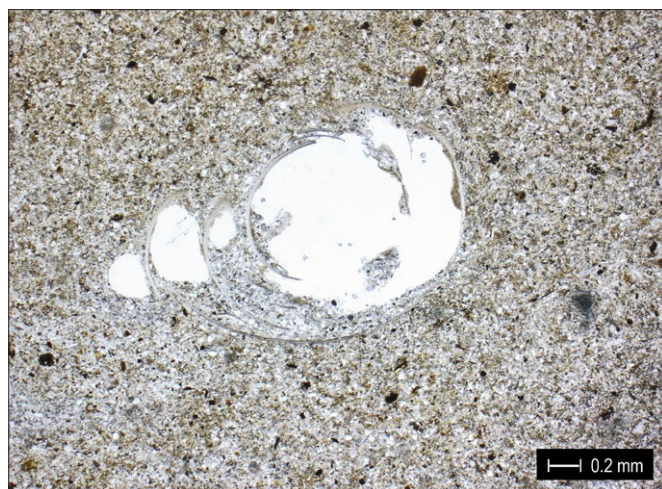


Fig. 5. Formation silteuse d'origine loessique montrant plusieurs phases d'illuviation d'argiles et déformée sous l'effet du sous-tirage karstique. Il s'agit du sédiment considéré dans l'étude comme le plus ancien, soit d'un âge postulé de 90-70 ka BP (lame CTD-VTA-V8-M1.1).

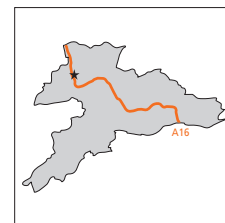


## Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

## Doline V8

## CTD-VTA-V8 M5

Plans 2, 20, 21 et 22



**Coordonnées:** coupe 89, mètre 17, couche r25-7, altitude 524,25-30 m

**Description:** limons à teneur en argile variable et à graviers épars; en poches dans des couches de graviers limono-sableux

**Lames minces:** M5.1 et M5.2

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts fins à gravillons, argileux, jaune pâle orangé

**Porosité:** très faible, voire nulle !

**Microstructure:** massive

**Composants:** gravillons et rares grains sableux calcaires de différentes natures (micritiques, bréchiques, à oncoïdes), anguleux à subarrondis; un *fragment de gros os* anguleux, altéré; fraction silteuse de spectre loessique (fig. 6)

**Traits pédologiques:** imprégnations d'oxydes ferromanganiques diffuses ou bien concentrées selon des plans de cisaillement, puis affectés par des microfailles (fig. 7); les constituants calcaires sont souvent fissurés et ont subi une dissolution

### Diagnostic

Loess issus, à l'origine, d'une décantation en milieu périodiquement saturé en eau, comprenant quelques éléments calcaires appartenant à l'unité sus-jacente (couche r25-5); tout d'abord déformés suite à un effondrement (sous-tirage karstique en début de phase froide); puis soumis au gel-dégel, et enfin un peu altérés (décarbonatation).

Le fragment d'os (mammouth ?), assez altéré, est en position secondaire tout comme les graviers mais il n'a pas été transporté sur une longue distance

**Remarque:** ce faciès est apparenté à celui de l'échantillon CTD-VTA-V8-M3 et pourrait se placer stratigraphiquement juste au-dessus

### Chronologie

Pléniglaciaire moyen (MIS 3c-3b); environ 60-40 ka BP

Déformation plus tardive (MIS 3a) et gel profond au Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b)

Altération dès le Tardiglaciaire (MIS 2a)

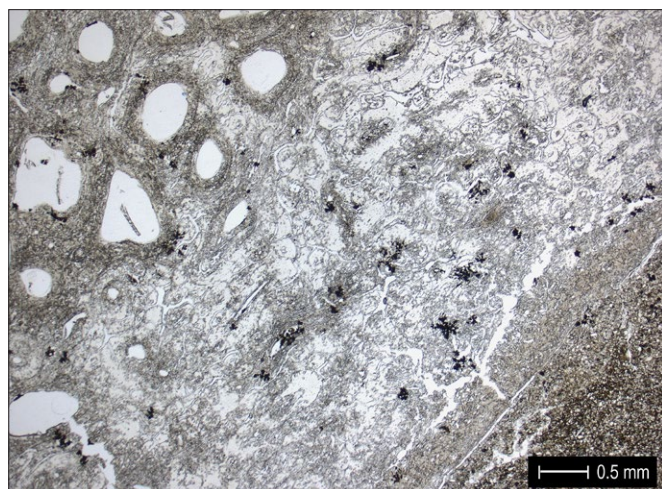


Fig. 6. Fragment de gros os (mammouth ?) altéré, en position secondaire dans un sédiment loessique du Pléniglaciaire moyen (lame CTD-VTA-V8-M5.2).



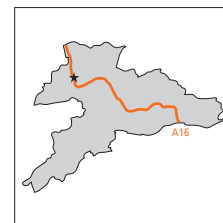
Fig. 7. Dans les loess, des imprégnations d'oxydes ferromanganiques recoupées par des microfailles indiquent un affaissement du remplissage dû au sous-tirage karstique, au fond de la doline (lame CTD-VTA-V8-M5.2).

Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 4

**CTD-BBO M1**

Plans 26 et 27



Coordonnées: mètre 7, couche r10-E4, altitude 519,96 m

Description: néant

Lame mince: M1

**Micromorphologie****Sédiment:** silts argileux, légèrement sableux, brun-jaune clair, assez bien classés; absence de tout litage**Porosité:** faible (10 %), cavités et rares chenaux**Microstructure:** cavitaire, assez massive**Composants:** sables épars, siliceux et rares agrégats argileux; fraction silteuse: quartz subanguleux, phyllosilicates (micas blancs et chlorite), feldspaths et accessoires (surtout amphiboles et minéraux opaques): cette association minérale, additionnée suivant les cas de grains calcitiques ou calcaires, est définie comme *spectre lœssique* ci-après dans l'étude (fig. 8)**Traits pédologiques:** illuviation d'argiles limpides dans la porosité fine, progressivement intégrées à la matrice vers le haut de la lame; bioturbé; oxydes ferromanganiques en nodules concentriques**Diagnostic**

Lœss probablement ruisselés, altérés, enrichis en argiles illuviales et bioturbés

Horizon argilique BT d'un luvisol

**Chronologie**

Seconde partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2c-2b); environ 23-17 ka BP

Altération, pédogenèse au Tardiglaciaire (MIS 2a)



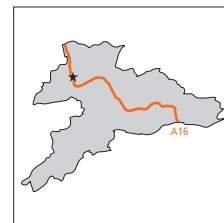
Fig. 8. Grain silteux d'amphibole, minéral typique du cortège allochtone des lœss de Courtedoux (lame CTD-BBO-M1).

Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 4

**CTD-BBO M2**

Plans 26 et 27



Coordonnées: mètre 7, couche r10-E6, altitude 519,36 m

Description: néant

Lame mince: M2

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts argileux jaune clair brunâtre, bien classés, à litage subhorizontal des constituants

**Porosité:** faible (10 %), fissures et rares chambres

**Microstructure:** lamellaire, parallèle au litage (fig. 9)

**Composants:** de spectre loessique, sans carbonate; phyllosilicates altérés

**Traits pédologiques:** imprégnations ferromanganiques développées à partir des fissures; argilanes limpides dans quelques pores

### Diagnostic

Loess sédimentés sous une tranche d'eau peu profonde, puis affectés par un gel profond et altérés

Milieu froid, temporairement humide

Base d'un horizon argilique BT

### Chronologie

Première partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b); environ 29-24 ka BP

Altération dès le début du Tardiglaciaire (MIS 2a)

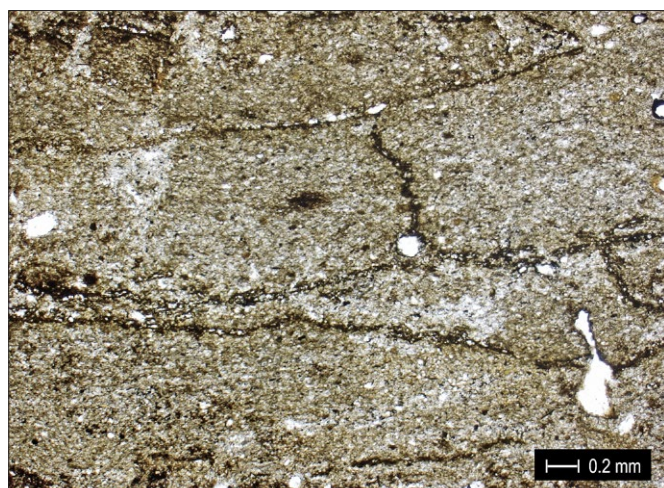


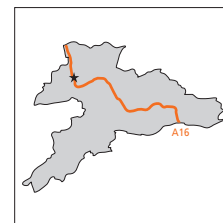
Fig. 9. Loess du Pléniglaciaire supérieur à microstructure lamellaire. La fissuration due au gel est revêtue par des imprégnations ferromanganiques (lame CTD-BBO-M2).

Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 4

## CTD-BBO M3

Plans 26 et 27



**Coordonnées:** mètre 10, couche r10-E3, altitude 520,40 m

**Description:** néant

**Lame mince:** M3

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts argileux brun-jaune clair, bien classés, sans litage, légèrement humifères

**Porosité:** moyenne (20 %), chenaux et cavités

**Microstructure:** à chenaux

**Composants:** rares charbons de bois (conifère), subanguleux; fraction silteuse de spectre loessique, altérée (absence de carbonates, micas dégradés)

**Matrice:** progressivement enrichie en microcharbons de bois vers le haut

**Traits pédologiques:** bioturbation; revêtements silto-organiques épais dans les gros pores, coiffés par endroits de silts rougeâtres probablement passés au feu; argilanes limpides peu développées à la base, dans une porosité fine parfois refermée; nodules d'oxydes ferromanganiques, souvent remaniés

### Diagnostic

Colluvions loessiques avec discrets indices de brûlis, reposant sur le sommet de l'horizon argilique BT

### Chronologie

Holocène (MIS 1)

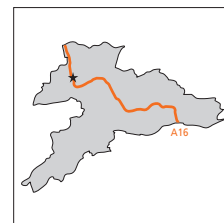


## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 4

## CTD-BBO M4

Plans 26 et 27



Coordonnées: mètre 16, couche r15-c4, altitude 519,62 m

Description: néant

Lame mince: M4

**Micromorphologie****Sédiment:** formation granoclassée constituée de silts argileux structurés en lits centimétriques, puis millimétriques vers haut**Porosité:** très faible (5 %, fissures) à la base de la lame, faible (15 %, fissures et cavités) au sommet**Microstructure:** complexe, à dominante lamellaire**Composants:** dans la partie inférieure et médiane de la lame apparaissent des boulettes argileuses brun-rouille, remaniées (voir plus bas échantillon CTD-BBO M6); la partie supérieure se compose de silts fins de spectre loessique, décarbonaté**Traits pédologiques:** les nodules ferromanganiques montrent plusieurs générations: fissurés, remaniés ou en place (dendritiques); la fissuration due au gel est bien marquée et l'épaisseur des lamelles diminue progressivement vers le haut; à ce même endroit, les lits finement silteux sont déformés (effet du gonflement cryogénique) et les pores sont revêtus d'argilanes peu épaisses (fig. 10)**Diagnostic**

Loess argileux remaniés par ruissellement et décantation au fond de la doline

Climat froid: présence d'un pergélisol discontinu. Puis illuviation d'argiles, plus tardive.

Horizon pédologique compact, ou fragipan

**Chronologie**

Loess du Pléniglaciaire moyen à supérieur, remaniés et évolués sur place au Dryas ancien (MIS 2a). Environ 17-14,7 ka BP

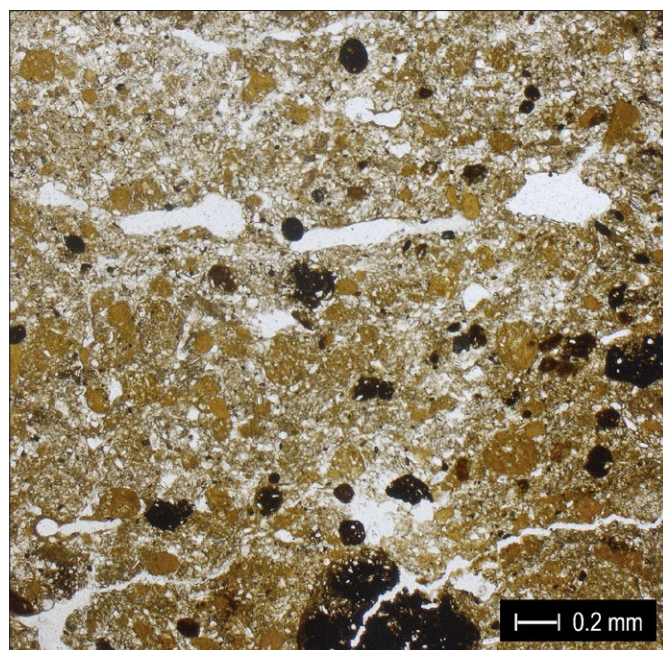


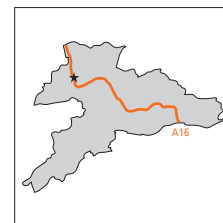
Fig. 10. Accumulation de boulettes argileuses, remaniées, passant vers le haut à des silts loessiques, fissurés par le gel. Horizon fragipan signalant le sommet d'un paléopergélisol local du Dryas ancien (lame CTD-BBO-M4).

Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 4

## CTD-BBO M5

Plans 26 et 27



**Coordonnées:** mètre 21, couche r3-U(OI), altitude 519,97 m

**Description:** néant

**Lame mince:** M5

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts argileux, légèrement sableux, jaune rouille clair, de classement médiocre, avec litage à pendage redressé (40°)

**Porosité:** faible (10 %), chenaux

**Microstructure:** massive, puis lamellaire au sommet

**Composants:** fraction sableuse peu abondante, composée de grains calcaires subanguleux (remaniés de l'encaissant); coquilles de mollusques quaternaires, altérées; biosphéroïdes calcitiques fragmentés; fraction silteuse de spectre loessique, décarbonaté

**Traits pédologiques:** fines fissures rectilignes, parallèles au litage, formant une microstructure lamellaire au sommet, avec des déformations (gélifluxion); rares nodules ferromanganiques (sur radicelles)

### Diagnostic

Loess laminés, mis en place par ruissellement sur les bords de la doline

Gel-dégel actif: climat froid

### Chronologie

Première partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d)

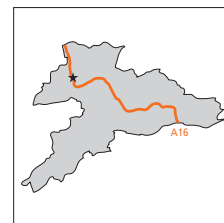
Environ 29-24 ka BP

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 4

**CTD-BBO M6**

Plans 26 et 27

**Coordonnées:** mètre 16, couche r15-c4, altitude 519,20 m**Description:** néant**Lame mince:** M6**Micromorphologie****Sédiment:** formation granoclassée composée de silts à teneur en argiles variable, structurés en lits centimétriques, granodécroissants vers le haut; à la base de chaque lit apparaissent des boulettes gileuses, subarrondies, de la taille des sables parfois grossiers, de couleur brun-jaune ou brun rouille**Porosité:** très faible (5 %, chenaux) à la base, moyenne (20 %, cavités et vides d'entassement) au sommet de la lame**Microstructure:** massive dans la partie inférieure, puis complexe**Composants:** fraction silteuse d'origine lœssique**Traits pédologiques:** revêtements d'argilanes limpides dans la porosité fine, en particulier vers la base de la lame; illuviation silteuse ou silto-organique («poussiéreuse») dans les gros pores; nodules d'oxydes de fer de plusieurs générations (voir plus haut échantillon CTD-BBO M4)**Diagnostic**

Loess altérés fragmentés par du gel, puis remaniés par ruissellement et décantation au fond de la doline

Milieu froid et temporairement humide

Illuviation d'argiles après mise en place

**Chronologie**

Loess du Pléniglaciaire moyen à supérieur, remaniés au début du Tardiglaciaire, soit au Dryas ancien (MIS 2a)

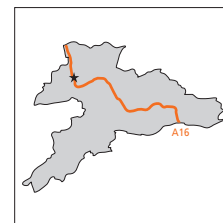
Environ 17-15 ka BP

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 4

## CTD-BBO M7

Plans 26 et 27



**Coordonnées:** mètre 16, couche r23-f, altitude 518,86 m

**Description:** néant

**Lame mince:** M7

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts argileux légèrement sableux, brun-jaune clair, assez bien classés, sans litage

**Porosité:** moyenne (20 %), fissures et chambres

**Microstructure:** complexe, à dominante lamellaire

**Composants:** fraction sableuse: bioclastes siliceux hérités de l'encaissant et, vers le sommet, boulettes argileuses; fraction silteuse de spectre loessique (pour rappel: quartz, mica, chlorite, amphibole et minéraux opaques)

**Traits pédologiques:** a) Traits texturaux: 1° illuviation d'argiles limpides dans la porosité fine, progressivement intégrées à la matrice vers le haut de la lame, sous forme de boulettes: ces dernières peuvent aussi, en partie, provenir d'apports latéraux; 2° revêtements silteux propres dans les mêmes pores; 3° au sommet de la lame: revêtements ferromanganiques; 4° illuviation silto-organiques dans les plus gros pores;

b) Traits amorphes: nodules d'oxydes ferromanganiques, à structure concentrique, parfois fragmentés; imprégnations dendritiques des mêmes oxydes

c) Traits d'altération: décarbonatation complète

### Diagnostic

Loess ayant subi, dans un premier temps, un gel profond puis une décarbonatation et un enrichissement en argiles illuviales (pédogenèse rudimentaire: base d'un horizon argilique BT)

Vers le sommet de la lame, l'organisation spatiale est perturbée, les argilanes étant déformées et fragmentées en boulettes (effet du gonflement cryogénique)

Regel en surface par la suite, en milieu temporairement saturé en eau

### Chronologie

Seconde partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2c, 2b); environ 23-17 ka BP

Altération et regel au début du Tardiglaciaire soit au Dryas ancien (MIS 2a); environ 17-15 ka BP

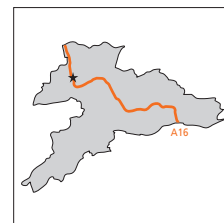


Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 4

## CTD-BBO M8

Plans 26 et 27



**Coordonnées:** mètre 20, couche r23-c, altitude 518,86 m

**Description:** néant

**Lame mince:** M8

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts argileux, légèrement sableux, jaune rouille clair, très bien classés, à litage oblique distinct, granodécroissants vers le haut

**Porosité:** très faible (5 %), rares chenaux

**Microstructure:** massive

**Composants:** fraction sableuse peu abondante, composée de grains calcaires subanguleux, remaniés de l'encaissant, et de boulettes argileuses ou silteuses; coquilles de mollusques quaternaires, altérées; biosphéroïdes calcitiques parfois fragmentés; fraction silteuse de spectre lœssique carbonaté

**Traits pédologiques:** par endroits, fines fissures rectilignes, interprétées comme des lentilles de glace; hydromorphie temporaire marquée comme dans l'échantillon CTD-BBO M10-a (voir plus bas)

### Diagnostic

Loess laminés, sédimentés sous une tranche d'eau peu profonde et temporaire (décantation avec ségrégation du fer)

Apports latéraux par ruissellement

Climat froid

### Chronologie

Première partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d)

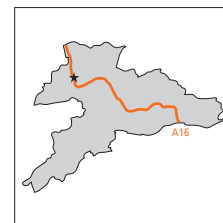
Environ 29-24 ka BP

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 4

## CTD-BBO M9

Plans 26 et 27



Coordonnées: mètre 19, couche r3-c4, altitude 519,42 m

Description: néant

Lame mince: M9

**Micromorphologie**

**Sédiment:** formation granoclassée brun-jaune composée de silts à teneur en argiles variable, structurés en lits millimétriques subhorizontaux, granodécroissants vers haut; à la base de chaque lit apparaissent souvent des boulettes silto-argileuses, subarrondies, de la taille des sables parfois grossiers, de couleur brun-jaune ou brun rouille (oxydées); au sommet, les particules sont fines, issues de la décantation (fig. 11)

**Porosité:** très faible (5 %), chenaux racinaires

**Microstructure:** massive

**Composants:** dans la partie inférieure, des grains carbonatés signalent la proximité du front de décarbonatation; présence de débris organiques filiformes, dégradés (feuilles?), dans un lit finement silteux; fraction silteuse de spectre loessique

**Traits pédologiques:** traces de gel peu marquées, sous la forme d'un niveau de décantation déformé et microfissuré. Rares hyporevêtements de pores carbonatés (tubes racinaires)

**Diagnostic**

Loess ruisselés et décantés au fond de la doline

Milieu froid et temporairement humide

**Chronologie**

Loess du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b), remaniés et faiblement altérés au début du Tardiglaciaire (MIS 2a)

Environ 17-15 ka BP

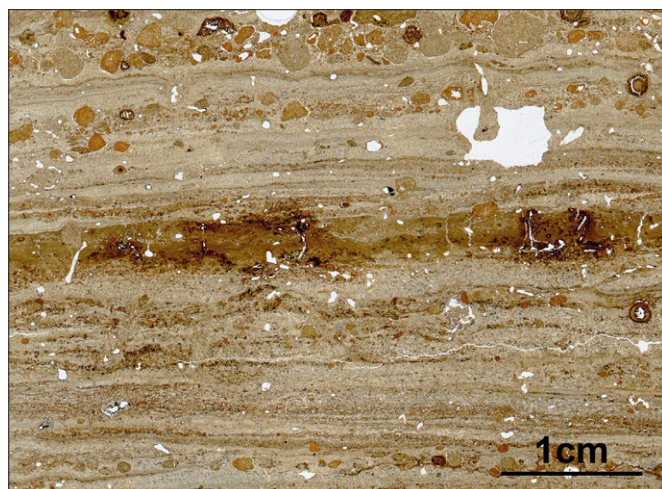


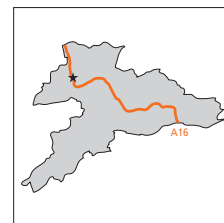
Fig. 11. Sédiment laminé constitué de lits granoclassés composés chacun de boulettes siltoargileuses à la base et de particules fines au sommet. Il s'agit de loess pléniglaciaires, remaniés par ruissellement et décantation au début du Tardiglaciaire (lame CTD-BBO-M9).

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 4

## CTD-BBO M10-a

Plans 26 et 27



Coordonnées: mètre 15, couche r25-c6, altitude 517,80 m

Description: néant

Lame mince: M10a

**Micromorphologie**

**Sédiment:** silts légèrement sableux, jaune clair rouille, très bien classés, en lamines granodécroissantes vers le haut, avec un litage distinct, de pendage oblique (fig. 12)

**Porosité:** très faible (5 %), rares chenaux

**Microstructure:** massive

**Composants:** fraction sableuse peu abondante, composée de grains calcaires subanguleux, de quartz arrondis et de boulettes argileuses polyphasées: ces éléments sont remaniés à partir de l'encaissant; coquilles de mollusques quaternaires, fragmentées; concrétions calcitiques biogéniques; fraction silteuse de spectre loessique carbonaté

**Traits pédologiques:** les composants carbonatés sont progressivement plus altérés vers le haut; concrétions ferriques en lits continus dans les lamines finement silteuses; imprégnations diffuses d'oxydes dans la masse, ou rarement en nodules (sur ancienne racine)

**Diagnostic**

Loess laminés, sédimentés sous une tranche d'eau (décantation dans une cuvette humide)

Apports par ruissellement, en particulier au début de chaque séquence ou lamine

**Chronologie**

Première partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d)

Environ 29-24 ka BP

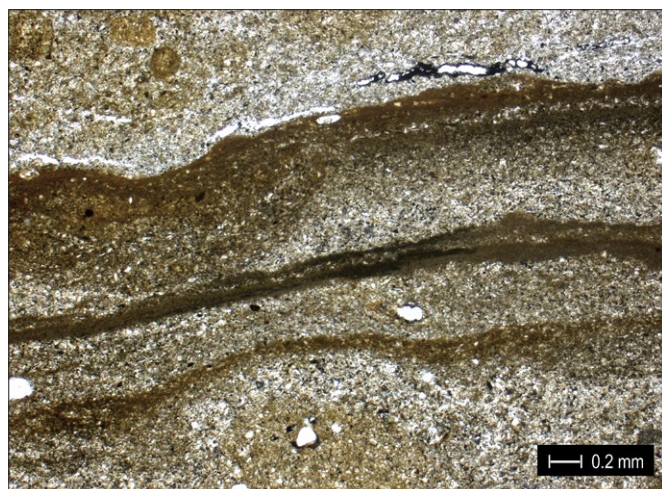


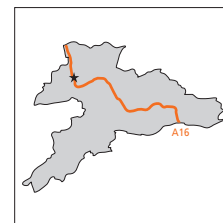
Fig. 12. Les loess du Pléniglaciaire supérieur sont souvent formés d'une succession de lamines granodécroissantes résultant d'une décantation en milieu temporairement humide (lame CTD-BBO-M10a).

Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 7

## CTD-BBO M10-b

Plans 26 et 28



Coordonnées: mètre 13, couche R30A, altitude 516,73 m

Description: néant

Lame mince: M10-b

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts carbonatés brun-gris jaunâtre, structurés en lits granoclassés obliques, millimétriques, s'épaississant vers le haut

**Porosité:** très faible (<5 %), rares vésicules et fissures

**Microstructure:** massive

**Composants:** fraction sableuse peu abondante, polygénique: grains calcitiques et calcaires subarrondis, fragments de coquilles de mollusques, biosphéroïdes calcitiques; coquilles de gastéropodes quaternaires, entières dans les plages bioturbées de la lame; fraction silteuse de spectre loessique carbonaté, pauvre en phyllosilicates dans les lits plus grossiers (effet de la décantation)

### Diagnostic

Loess laminés, sédimentés sous une tranche d'eau (décantation dans une cuvette humide)

Apports par ruissellement, en particulier à la base de chaque séquence (ou lamine)

Conditions locales froides et humides

### Chronologie

Première partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d)

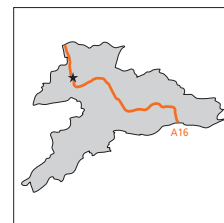
Environ 29-24 ka BP

Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 7

## CTD-BBO M11

Plans 26 et 28



**Coordonnées:** mètre 12, couche R30A, altitude 516,83 m

**Description:** néant

**Lame mince:** M11

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts brun-jaune clair, structurés en lits granoclassés obliques, millimétriques

**Porosité:** très faible (<5 %), rares vésicules et fissures

**Microstructure:** massive

**Traits pédologiques:** bioturbation localisée; revêtements de pores argileux, peu développés

### Diagnostic

Loess laminés, sédimentés sous une tranche d'eau, puis décarbonatés en milieu drainant

### Chronologie

Mise en place des loess au Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b); environ 29-17 ka BP

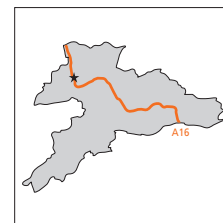
Altération au début du Tardiglaciaire (MIS 2a)

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 7

## CTD-BBO M12

Plans 26 et 28



---

**Coordonnées:** mètre 10, couche r35, altitude 517,20m**Description:** néant**Lame mince:** M12

---

**Micromorphologie****Sédiment:** silts argileux brun jaune rouille, bien classés, avec microlitage apparent dans certaines plages de la lame**Porosité:** faible (10 %); fissures et cavité**Microstructure:** complexe, à dominante lamellaire**Composants:** fraction silteuse de spectre loessique (surtout quartz); au sommet, boulettes d'argiles jaune-orange; nodules ferromanganiques remaniés**Traits pédologiques:** deux plages distinctes dans la lame:

1° sédiment-« mère » : linéaments subhorizontaux à litage distinct des particules, enrichis en argiles et interprétés comme des microgleys (voir plus bas échantillon CTD-BBO M16); oxydes finement répartis dans la matrice; bioturbation localisée

2° sédiment-« fils » : plusieurs générations d'argilanes et d'oxydes de fer revêtent les fissures, entre les lamelles induites par le gel; ils sont par endroits déformés

---

**Diagnostic**

Loess faiblement altérés et repris latéralement par ruissellement

Après mise en place, fissuration due au gel, puis illuviation d'argiles (base d'un horizon argilique BT) et saturation temporaire en eau

---

**Chronologie**

Loess du Pléniglaciaire moyen (MIS 3), démantelés au cours de la transition vers le Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d); environ 39-30 ka BP.

Altération au Tardiglaciaire (MIS-2a).

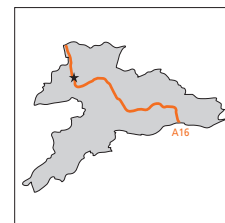
---

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 7

## CTD-BBO M13

Plans 26 et 28



Coordonnées: mètre 6, couche r35-LB, altitude 517,00 m

Description: néant

Lame mince: M13

**Micromorphologie****Sédiment:** silts très argileux et faiblement sableux brun-jaune orangé, assez bien classés**Porosité:** moyenne (25 %), peut-être trop élevée (artefact de fabrication); vides planaires surtout**Microstructure:** complexe, à dominante lamellaire (fig. 13)**Composants:** fraction sableuse provenant du bed-rock (bioclastes siliceux); rares charbons de bois de conifère (max. 1 mm); fraction silteuse d'origine lœssique (surtout quartz) avec des phyllosilicates altérés**Traits pédologiques:** boulettes argileuses brun orangé, arrondies à subarrondies, en général silteuses, rarement limpides; abondants nodules ferromanganeux en général <0,5 mm; fissuration subparallèle bien marquée**Diagnostic**

Colluvions lœssiques polyphasées, reprenant des colluvions (voir plus bas échantillon CTD-BBO M14) ou/et un horizon argilique BT appartenant au complexe interglaciaire

Bien exprimée, la fissuration indique qu'après mise en place, le dépôt a été soumis à des conditions froides et humides

**Chronologie**

De la fin du Glaciaire précoce (MIS 5a) jusqu'au début du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4)

Environ 80-70 ka BP

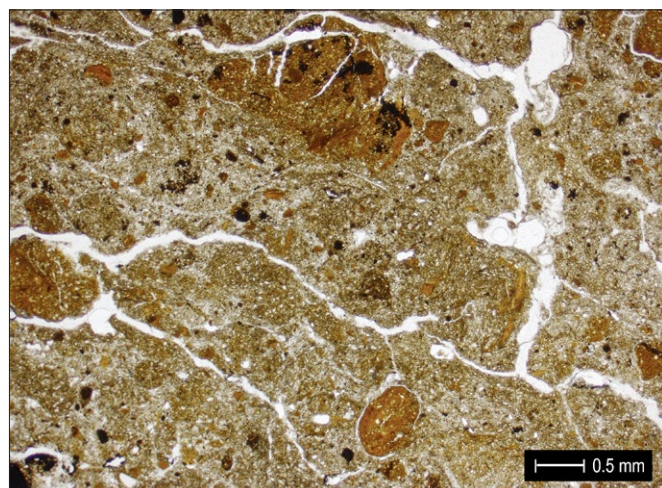


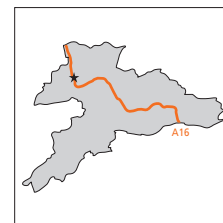
Fig. 13. Colluvions lœssiques polyphasées comprenant des boulettes argileuses brun-orange, remaniées du pédocomplexe interglaciaire. Une fissuration lamellaire due au gel s'est développée après dépôt (lame CTD-BBO-M13).

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 7

## CTD-BBO M14

Plans 26 et 28



---

**Coordonnées:** mètre 5, couche r35-LB, altitude 516,62 m**Description:** néant**Lame mince:** M14

---

**Micromorphologie****Sédiment:** silts argileux et faiblement sableux brun-jaune clair, assez bien classés**Porosité:** moyenne à faible (15 %); cavités polyconcaves, avec vides planaires**Microstructure:** cavitaire**Composants:** fraction sableuse provenant du bed-rock (bioclastes siliceux); rares charbons de bois de conifère (max. 0,5 mm); fraction silteuse d'origine lœssique (surtout quartz) avec des phyllosilicates altérés**Traits pédologiques:** boulettes d'argiles limpides jaune-orange, arrondies ou subarrondies, parfois silteuses vers le sommet de la lame, assez abondantes dans la micromasse; çà et là, nodules ferromanganiques arrondis, souvent sur débris organiques, en partie hérités; localement, précipitation de carbonates sous forme de revêtements sparitiques de pores et d'hyporevêtements micritiques; bioturbation faiblement marquée; illuviation poussiéreuse (tardive) dans certains vides

---

**Diagnostic**

Colluvions lœssiques polyphasées remaniant un horizon argilique BT appartenant probablement au complexe interglaciaire

Traces de gel peu marquées, en partie entamées par la bioturbation

Proximité de la roche calcaire et du front de décarbonatation

---

**Chronologie**

De la fin du Glaciaire précoce (MIS 5a) jusqu'au début du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4)

Environ 80-70 ka BP

---

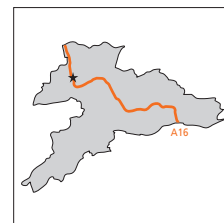


## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 7

**CTD-BBO M15**

Plans 26 et 28

**Coordonnées:** mètre 10, couche R47-y, altitude 515,85 m**Description:** néant**Lame mince:** M15**Micromorphologie****Sédiment:** silts faiblement argileux brun-jaune pâle grisâtre, assez bien classés, avec grains sableux siliceux remaniés du bed-rock**Porosité:** moyenne (20 %), cavités et chenaux**Microstructure:** cavitaire**Composants:** fraction silteuse de spectre lœssique (surtout quartz); nombreux charbons de bois de conifère et éventuellement de feuillu, anguleux (max. 3 mm), souvent émiettés**Matrice:** comprend des microcharbons et de la matière organique fine**Traits pédologiques:** nodules ferromanganiques concentriques, à pourtour dendritique, sur anciennes racines; boulettes argileuses et silto-organiques; gros fragments de croûtes d'oxydes ferromanganiques; bioturbation marquée; illuviation poussiéreuse dans les grands pores, parfois complètement colmatés**Diagnostic**

Sédiment remanié par sous-tirage karstique à partir des dépôts superficiels, recouvrant la doline

**Chronologie**

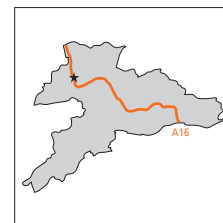
Holocène (MIS 1)

Courtedoux - Béchat Bovais

Coupe 7

**CTD-BBO M16**

Plans 26 et 28



Coordonnées: mètre 11, couche r47-y, altitude 515,58m

Description: néant

Lame mince: M16

**Micromorphologie****Sédiment:** silts un peu argileux à rares gravillons, brun jaune pâle, bien classés, carbonatés**Porosité:** très faible (5 %), cavités polyconcaves**Microstructure:** massive**Matrice:** pigmentée par oxydes de fer finement répartis, en général sur de la matière organique**Traits pédologiques:** linéaments obliques et subparallèles, à partir desquels se marquent une décarbonatation des silts sur quelques milli-mètres d'épaisseur, avec des argiles litées (résidu insoluble), des traces d'activité biologique (concrétions biogéniques, coquilles de mollusques fragmentées et terriers) et un faible enrichissement de la matrice en microcharbons et matière organique fine. Rares concrétions ferromanganiques, dendritiques (fig. 14)**Diagnostic**Loess calcaires comprenant une succession de sols silteux peu évolués (*microgleys*) formés lors des arrêts de sédimentation éolienne

Conditions steppiques temporairement humides

**Chronologie**

De la fin Pléniglaciaire inférieur (MIS 4) au début du Pléniglaciaire moyen (MIS 3c)

Environ 60-54 ka BP

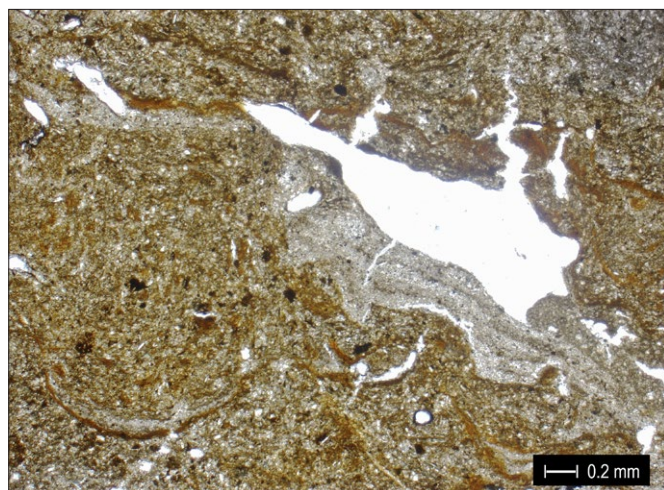


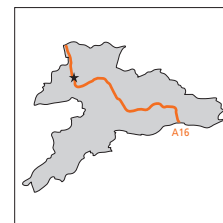
Fig. 14. Loess calcaires de la fin du Pléniglaciaire inférieur comprenant une succession de sols peu évolués (*microgleys*), formés lors des arrêts de sédimentation éolienne (lame CTD-BBM16).

## Courtedoux - Béchat Bovais

## Coupe 7

## CTD-BBO M18

Plans 26 et 28



Coordonnées: mètre 10, couche r35-LB, altitude 514,00 m

Description: néant

Lames minces: M18.1 et M18.2

**Micromorphologie****Sédiment:** silts très argileux et faiblement sableux brun-jaune orangé, assez bien classés**Porosité:** très faible (5 %), vides planaires et cavités**Microstructure:** complexe; à dominante massive, par endroits polyédrique angulaire**Composants:** fraction sableuse provenant du bed-rock (bioclastes siliceux); charbons de bois de conifère (max. 1 mm), épars, parfois enrobés de matière organique dégradée ou d'oxydes ferromanganiques; fraction silteuse d'origine lœssique (surtout quartz) avec des phyllosilicates altérés (fig. 15)**Matrice:** contient de la matière organique fine et des microcharbons; striation réticulée due aux argiles**Traits pédologiques:** fragments subarrondis (0,5-2 mm) d'argiles limpides brun-jaune, microlitées, en amas ou plus rarement intégrés à la micromasse; nombreux nodules ferromanganiques en général arrondis et probablement remaniés, également dendritiques ou concentriques, formés in situ; rares agrégats silto-argileux brun-rouge au sommet, interprétés comme des fragments d'horizon humifère brûlé (fig. 16)**Diagnostic**

Colluvions lœssiques remaniant des paléosols plus anciens comprenant des horizons argiliques BT et BTh. Structure «collapse» induite par sous-tirage karstique

Après mise en place, en milieu saturé en eau, un gel saisonnier se marque faiblement

**Chronologie**

De la fin du Glaciaire précoce (MIS 5c-5a) jusqu'au Pléniglaciaire inférieur (MIS 4)

Environ 80-70 ka BP

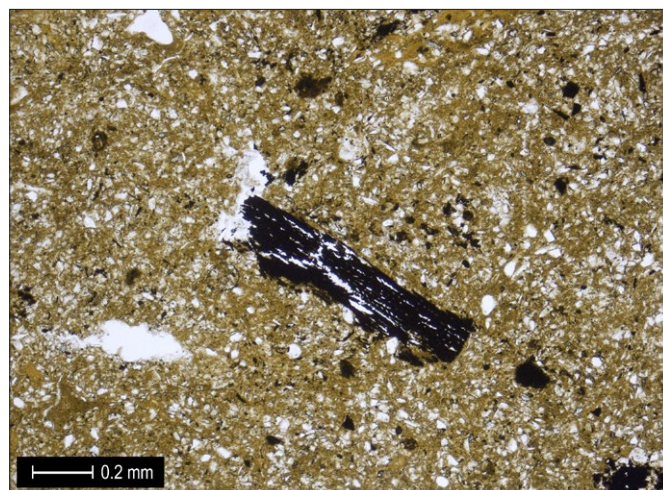


Fig. 15. Charbon de bois de conifère dans les colluvions lœssiques à la base de la séquence de Béchat Bovais. Âge postulé: 80-70 ka BP (lame CTD-BBO-M18.1).

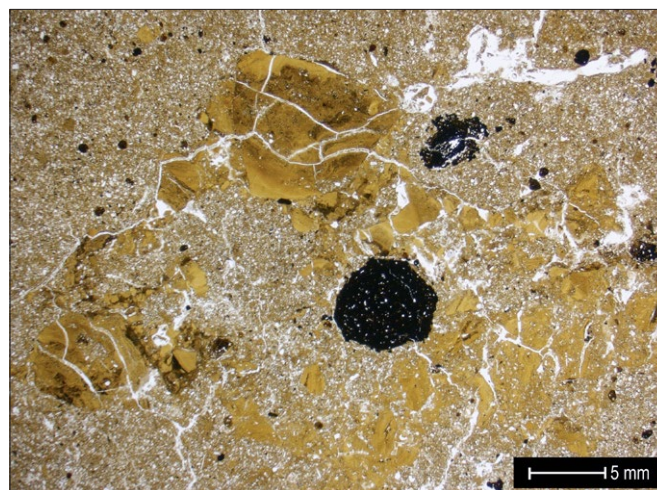


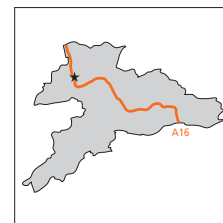
Fig. 16. Colluvions de la base de la séquence de Béchat Bovais. Cette unité insérée à la transition Glaciaire précoce-Pléniglaciaire inférieur renferme des argiles héritées de paléosols et des nodules ferromanganiques (lame CTD-BBO-M18.2).

## Courtedoux - Sylleux

## Coupe 1

## CTD-SYL M1

Plans 30 et 31

**Coordonnées:** couches 6 et 5, altitude 495,00 m**Description:** silts gris olive très compacts, finement laminés**Lame mince:** M1**Micromorphologie****Couche 6****Sédiment:** silts argileux, bien classés, brun-jaune clair**Porosité:** faible (10 %), fissures et chenaux**Microstructure:** lamellaire**Composants:** de spectre loessique, peu altérés mais décarbonatés**Traits pédologiques:** accumulations texturales argileuses en microbandes; microcisaillements subverticaux; illuviation poussiéreuse dans les gros pores (trait tardif)**Couche 5:** en contact net (voir l'échantillon CTD-SYL M2)**Diagnostic**

Loess un peu altérés, de faciès « limons à doublets » (fig. 17) (Van Vliet-Lanoë 1988)

**Chronologie**

Fin du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2b); environ 21-17 ka BP

Altération au début du Tardiglaciaire (MIS 2a)

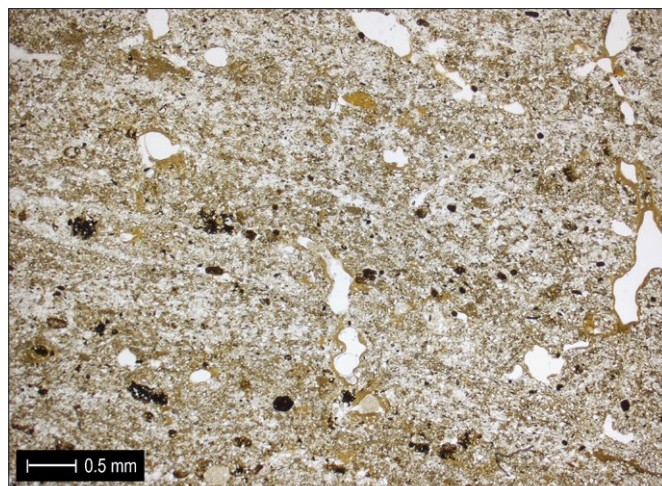


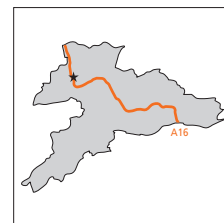
Fig. 17. Accumulation texturales en microbandes au sommet des loess du Pléniglaciaire supérieur du Sylleux. Faciès « limons à doublets » (lame CTD-SYL-M1).

## Courtedoux - Sylleux

## Coupe 1

**CTD-SYL M2**

Plans 30 et 31

**Coordonnées:** couches 6 et 5, altitude 495,10 m**Description:** silts argileux brun-gris foncé, à structure polyédrique**Lame mince:** M2**Micromorphologie****Couche 6** (voir l'échantillon CTD-SYL M1)**Couche 5****Sédiment:** silts argileux, assez bien classés, brun-jaune rouille**Porosité:** faible (10-15 %), fissures et chenaux**Microstructure:** polyédrique subangulaire**Composants:** de spectre lœssique, altérés**Traits pédologiques:** illuviation d'argiles limpides dans les pores, parfois intégrées à la masse par bioturbation; imprégnations d'oxydes ferromanganiques en hyporevêtements de pores ou en nodules concentriques; illuviation silto-organique, avec microcharbons, dans les gros pores (trait tardif)**Diagnostic**

Colluvions lœssiques, avec fissuration probablement due au gel

Enrichissement progressif, vers le haut, en argiles illuviales engendrant une hydromorphie temporaire

Base de l'horizon argilique BT

**Chronologie**

Lœss du Pléniglaciaire supérieur, remaniés et évolués sur place au Dryas ancien (MIS 2a)

Environ 17-14,7 ka BP

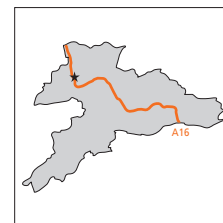


Courtedoux - Sylleux

Coupe 1

## CTD-SYL M3

Plans 30 et 31



**Coordonnées:** couche 4b, altitude 495,50 m

**Description:** silts faiblement argileux brun-jaune grisâtre, à rares charbons de bois

**Lame mince:** M3

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts très argileux, assez bien classés, brun-jaune clair

**Porosité:** faible à moyenne (15-20 %), cavités et chenaux

**Microstructure:** cavitaire

**Composants:** de spectre lœssique, altérés

**Matrice:** bioturbée, contient de rares microcharbons

**Traits pédologiques:** illuviation d'argiles limpides dans les pores et dans la matrice; illuviation poussiéreuse bien développée, en plusieurs générations, dans les gros pores

### Diagnostic

Colluvions lœssiques

Sommet de l'horizon argilique BT

### Chronologie

Tardiglaciaire (MIS 2a) – Holocène (MIS 1)

Environ 17-12 ka BP

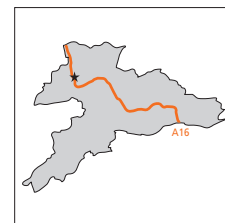


## Courtedoux - Sylleux

## Coupe 2

## CTD-SYL P6N

Plans 30 et 33

**Coordonnées:** couche 6.3, altitude 493,25 m**Description:** silts légèrement argileux gris-vert foncé, peu à pas caillouteux; contiennent des coquilles de mollusques et des fragments d'os longs (mammouth)**Lame mince:** une seule, fabriquée à partir d'un prélèvement destiné au départ à l'analyse palynologique**Micromorphologie****Sédiment:** silts argilo-sableux, bien classés, jaune clair grisâtre**Porosité:** très faible (5 %), cavités et fissures**Microstructure:** massive, avec des plages microlitées**Composants:** grains sableux de quartz en général anguleux, mais parfois arrondis; rares charbons de bois de conifère, subarrondis, imprégnés par des oxydes ferriques; silts de spectre loessique, à phyllosilicates assez altérés; microcharbons épars**Traits pédologiques:** boulettes d'argiles limpides; argillanes dans la porosité fine, revêtues par des oxydes ferromanganiques; ceux-ci sont également présents sous forme d'imprégnations nodulaires; fissuration peu marquée due à des lentilles de glace, renfermant une illuviation silto-organique peu développée et tardive (fig. 18)**Diagnostic**

Loess en partie géliflués, à composants grossiers repris des formations sous-jacentes, marqués par la pédogenèse, en milieu temporairement hydromorphe

Contexte globalement froid, steppique, avec une végétation clairsemée

Traces de gel acquises postérieurement

**Chronologie**

Transition entre la fin du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4) et le début du Pléniglaciaire moyen (MIS 3c); environ 60-54 ka BP

Soumis au gel du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b)

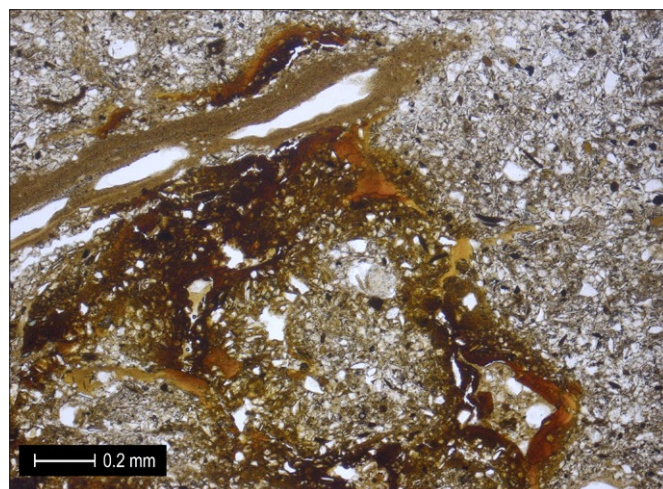


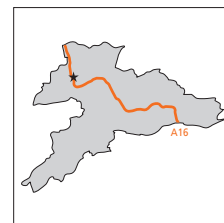
Fig. 18. Différentes génération de revêtements au sein des sédiments loessiques du Pléniglaciaire moyen: dans la porosité fine, argillanes brun-jaune coiffées par des oxydes ferromanganiques; dans la fissuration, illuviation silto-organique plus tardive (lame CTDSY-P6N).

Courtedoux - Sylleux

Coupe 4

## CTD-SYL M23

Plans 30 et 36



**Coordonnées:** couche 5, altitude 496,65 m

**Description:** silts argileux brun orangé, renfermant quelques cailloux et blocs calcaires

**Lame mince:** M23

### Micromorphologie

**Sédiment:** silts très argileux et faiblement sableux, assez bien classés, brun-jaune orange

**Porosité:** faible (10 %), fissures et rares chenaux

**Microstructure:** polyédrique angulaire

**Composants:** fraction sableuse de grains subarrondis de quartz et bioclastes siliceux; fraction silteuse de spectre loessique, à phyllosilicates altérés; microcharbons de bois, peu abondants

**Traits pédologiques:** argilanes intégrées à la matrice, générant une striation réticulée; oxydes ferromanganiques en petites imprégnations ou alors en nodules concentriques remaniés

### Diagnostic

Limons loessiques enrichis en argiles illuviales qui génèrent une hydromorphie temporaire

Horizon argilique BT

Marqué par le phénomène de gonflement-rétraction : présence de smectites probablement héritées de la roche calcaire, toute proche de l'échantillon

### Chronologie

Tardiglaciaire (MIS 2a) – Holocène (MIS 1)

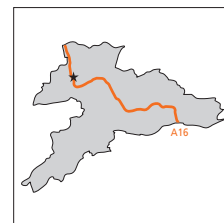
Environ 17-12 ka BP

## Courtedoux - Sylleux

## Coupe 5

## CTD-SYL M24

Plans 30 et 37

**Coordonnées:** couche E6, altitude 495,50 m**Description:** silts peu argileux gris-vert ou brun-jaune**Lame mince:** M24**Micromorphologie****Sédiment:** silts légèrement argileux, jaune-brun clair; par endroits, microlitages distincts, avec orientation préférentielle des particules, notamment des phyllosilicates et des argiles; ces litages sont localement déformés et ont un pendage très redressé (fig. 19)**Porosité:** très faible (5 %), fissures et rares chenaux**Microstructure:** polyédrique angulaire, parfois lamellaire**Composants:** de spectre loessique, peu altérés**Traits pédologiques:** hydromorphie moyennement marquée (imprégnations ferromanganiques); les fissures sont dues à des lentilles de glace; illuviation d'argilanes, peu développée, dans la porosité fine; illuviation poussiéreuse dans les plus gros pores**Diagnostic**

Loess en partie géliflués, faiblement évolués sur place en milieu temporairement détrempe; déformés

Contexte globalement froid, avec des épisodes un peu plus tempérés

Soumis à du gel dans le stade suivant

**Chronologie**

Pléniglaciaire moyen (MIS 3b); environ 50-39 ka BP

Déformation plus tardive (MIS 3a) et gel au Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b)

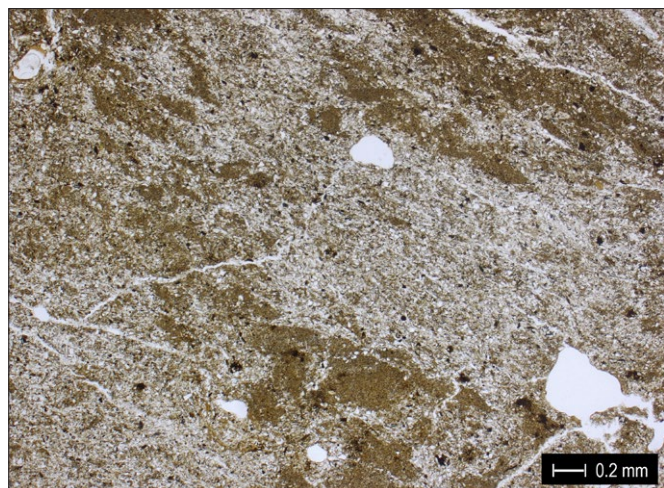


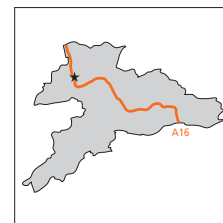
Fig. 19. Loess du début du Pléniglaciaire moyen, en partie géliflués, déposés en milieu temporairement détrempe, puis soumis à du gel (lame CTD-SYL-M24).

## Courtedoux - Sylleux

## Coupe 5

## CTD-SYL M26

Plans 30 et 37

**Coordonnées:** couche E6 et GB, altitude 494,20m**Description:** silts peu argileux gris-vert ou brun-jaune; graviers et gravillons calcaires à matrice silto-argileuse brun-gris verdâtre**Lames minces:** M26a et M26b**Micromorphologie****Couche 1****Sédiment:** graviers calcaires assez bien classés (1-3 cm), à tendance au litage**Porosité:** faible (10 %), fissures**Microstructure:** fissurale (lentilles de glace)**Composants:** calcaires de différents faciès (micritique, bioclastique et à pellets), subarrondis à subanguleux, fissurés in situ surtout à leur pourtour qui a subi également la dissolution; biosphéroïdes calcitiques (fig. 20)**Matrice:** silts loessiques de type couche 2, mais enrichis en argiles et en oxydes de fer (altération des composants calcaires)**Traits pédologiques:** boulettes d'argiles brun-rouge, remaniées de formations plus anciennes; absence de structuration cryogénique (pas de coiffe sur les éléments, p. ex.)**Limites:** le contact vertical avec la couche 2 est anormal; il résulte de la déformation ou d'une faille d'effondrement**Couche 2** loess identiques à ceux de l'échantillon CTD-SYL M24, mais de microstructure fissurale subverticale, parfois polyédrique angulaire**Diagnostic**

Formation graveleuse générée par des écoulements sur courte distance et déposée à l'origine sur les dépôts loessiques

Puis déformation par étirement et cisaillement engendrés par sous-tirage karstique

Dans des stades suivants, l'ensemble est soumis à du gel profond, puis à l'altération (dissolution des carbonates)

**Chronologie**

Mise en place et déformation à la fin du Pléniglaciaire moyen (MIS 3a); environ 39-30 ka BP

Puis gel profond au Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b)

Altération dès le Tardiglaciaire (MIS 2a)

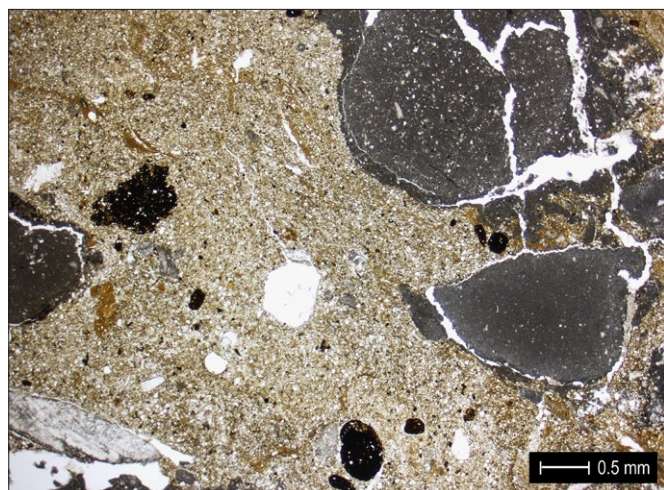


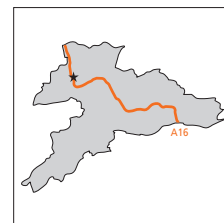
Fig. 20. Contact déformé entre des loess et des graviers provenant d'écoulements sur courte distance. La fissuration due au gel, plus tardive, affecte aussi bien les silts loessiques que les éléments calcaires (lame CTD-SYL-M26a).

Courtedoux - Sylleux

Coupe 5

## CTD-SYL M27

Plans 30 et 37



**Coordonnées:** couche E6, altitude 494,20 m

**Description:** silts peu argileux gris-vert ou brun-jaune

**Lame mince:** M27

### Micromorphologie

Identique à l'échantillon CTD-SYL M24 (voir plus haut), mais avec une illuviation d'argiles plus développée dans la porosité fine et de l'hydromorphie plus marquée

### Diagnostic

Loess en partie géliflués, faiblement évolués sur place et déformés

Puis soumis au gel-dégel

### Chronologie

Pléniglaciaire moyen (MIS 3b); environ 50-36 ka BP

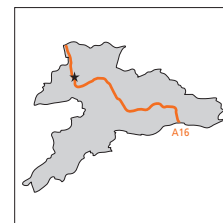
Déformation plus tardive (MIS 3a) et gel profond au Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b)

## Courtedoux - Sylleux

## Coupe 5

## CTD-SYL M28

Plans 30 et 37

**Coordonnées:** couches E6 et 5, altitude 494,85 m**Description:** silts argileux brun orangé ; silts peu argileux gris-vert ou brun-jaune**Lame mince:** M28**Micromorphologie****Couche E6** voir plus haut les échantillons CTD-SYL M24 et M27**Couche 5****Sédiment:** silts argileux bien classés, brun-jaune clair**Porosité:** faible (10 %), chenaux, cavités et fissures**Microstructure:** polyédrique subangulaire**Composants:** de spectre lœssique, à phyllosilicates altérés ; rares microcharbons**Traits pédologiques:** illuviation d'argiles limpides dans des pores refermés, en voie d'intégration à la matrice ; agrégats argileux arrondis, repris de formations altéritiques ; oxydes ferromanganiques en imprégnations localisées ou en nodules remaniés, souvent fragmentés ; illuviation poussiéreuse dans les plus grands pores (trait tardif)**Diagnostic**

Colluvions lœssiques, avec fissuration probablement due au gel

Enrichissement progressif, vers le haut, en argiles illuviales engendrant une hydromorphie temporaire

Base de l'horizon argilique BT

**Chronologie**

Lœss du Pléniglaciaire supérieur, remaniés et évolués sur place au Dryas ancien (MIS 2a)

Environ 17-14,7 ka BP



## 1.4 Discussion

### 1.4.1 Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

Sur ce site voisin de Béchat-Bovais, les échantillons proviennent de quatre dolines différentes et sont nettement plus dispersés. En conséquence, la reconstitution d'une chronostratigraphie cohérente s'avère délicate. Le profil de la doline V8, le plus complet, peut toutefois servir de référence pour un essai de corrélation des sédiments prélevés dans les autres dépressions, qui n'offrent que quelques « fenêtrés » micromorphologiques.

Les limons brun-rouge correspondent assurément au dépôt le plus ancien prélevé dans la doline V8 (échantillon CTD-VTA-V8 M1). Cette formation à dominante silteuse, d'origine lœssique, a en effet enregistré plusieurs phases pédosédimentaires. Tout d'abord, un horizon argilluvial s'y est développé au cours d'interstade(s) à climat tempéré. Suite à un affaissement généré par le sous-tirage, une déformation a ensuite affecté ces limons qui ont encore subi les effets du gel en milieu détrempe, probablement engendré par la fermeture du karst. Finalement, des revêtements argileux supplémentaires signalent la récurrence de conditions locales plus stables. Comme sur le site de Béchat Bovais, ces différentes phases évolutives témoignent de variations qui tendent globalement vers un rafraîchissement du climat. Elles sont caractéristiques de la transition entre la fin du Glaciaire précoce (MIS 5b-5a) et le Pléniglaciaire inférieur (MIS 4), soit de 90 à 70 ka BP environ.

La doline V8 révèle ensuite une alternance entre des lœss francs, souvent décantés sous une tranche d'eau, et des sols très peu évolués (*microgleys*), géliflués (échantillon CTD-VTA-V8 M3). Comme à Béchat Bovais, ces lœss calcaires sont insérés entre la fin du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4) et le début du Pléniglaciaire moyen (MIS 3c), entre 60 et 54 ka BP environ. Les apports éoliens prédominent encore vers le haut de la séquence analysée, où un fragment de gros os (mammouth ?) a été identifié (échantillon CTD-VTA-V8 M5).

La doline V3 montre une transition entre des colluvions lœssiques et des lœss peu altérés (échantillon CTD-VAV3 M2). Dans la doline V2, les lœss comprennent des éléments remaniés de l'encaissant calcaire, tout proche du prélèvement (échantillon CTD-VTA-V2 M2). Ceux de la doline V1 ont subi une évolution particulière après mise en place, peut-être induite par des facteurs stationnels (échantillon CTD-VTA-V1 PLV435). Dans toutes ces dépressions karstiques, les conditions sont donc froides et souvent humides, avec des épisodes relativement plus tempérés caractéristiques du Pléniglaciaire moyen, de 54 à 40 ka BP environ. Les dépôts de cette période montrent de plus une déformation induite par du sous-tirage, avec des traces de gel surimposées, indices tous deux d'un net refroidissement du climat, entre 39 et 30 ka BP environ (MIS 3a).

Effectivement, plus haut dans la stratigraphie de la doline V8, des lœss sont rattachés au Pléniglaciaire supérieur, plus précisément à sa première partie (MIS 2d), entre 29 et 24 ka BP environ

(échantillon CTD-VTA-V8 M2). Comme ceux de la doline V2 (échantillon CTD-VTA-V2 M1), ces sédiments éoliens se sont déposés par piégeage et décantation sous une tranche d'eau temporaire dans la dépression. À l'instar des dolines de Béchat Bovais, ceci évoque un climat froid et aride, avec la présence d'un névé.

L'humidité temporaire a également mené au dépôt de lœss dans la doline V3 (échantillon CTD-VTA-V3 M1), mais en partie remaniés, et possiblement mis en place dans la seconde partie du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2c-2b), de 24 à 17 ka BP environ. La décarbonatation suivie de la genèse d'un horizon argilluvial rudimentaire, puis de traces de gel surimposées, paraissent caractéristiques de la transition vers le Tardiglaciaire (MIS 2a).

### 1.4.2 Courtedoux - Béchat Bovais

Les deux profils analysés sur ce site forment en réalité un continuum. En effet, en coupe 7 tout d'abord, la base de la stratigraphie est constituée de colluvions contenant des charbons de bois de conifère (échantillons CTD-BBO M18, M14 et M13). À l'instar de la séquence d'Alle-Noir Bois, ils renferment également des pédoreliques provenant du remaniement de plusieurs paléosols développés sur lœss, en l'occurrence un luvisol et un grisol (ou « sol gris forestier »), combinaison typique du pédocomplexe du Glaciaire précoce (MIS 5d-5a) (van Vliet-Lanoë 1990 ; Guélat 2000 ; Antoine et al. 2001 et 2014). Ces dépôts colluviaux ont subi des contraintes engendrées par une déformation, probablement de la solifluxion sur les bords de la doline. Ils ont en outre été affectés par du gel et de l'hydromorphie, indiquant des conditions humides et de plus en plus froides. De tels phénomènes témoignent d'une réactivation du karst consécutive à de longues phases de pédogenèse, au cours d'un net rafraîchissement du climat que l'on peut insérer entre la fin du Glaciaire précoce (MIS 5) et le début du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4), soit de 80 à 70 ka BP environ.

Plus haut dans la stratigraphie, au-dessus de nappes de graviers, viennent se placer des lœss calcaires comprenant une succession de sols très peu évolués (« microgleys »), formés lors des arrêts de la sédimentation éolienne (échantillon CTD-BBO M16). Les conditions locales sont steppiques et temporairement humides. Ces lœss sont attribués à un intervalle allant de la fin du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4) au début du Pléniglaciaire moyen (MIS 3c), entre 60 et 54 ka BP environ (Guélat 2000 ; Antoine et al. 2001 et 2014). Après récurrence de formations graveleuses, la séquence se poursuit vers le haut par des lœss faiblement altérés et repris latéralement par ruissellement (échantillon CTD-BBO M12). Ces silts argileux sont attribués au Pléniglaciaire moyen et leur remaniement s'inscrirait dans la tendance au refroidissement du climat entre 39 et 30 ka BP environ (MIS 3a). Des lœss carbonatés, à lamination bien distincte font suite dans la stratigraphie (échantillons CTD-BBO M10b et M11). Décantés sous une tranche d'eau, ils évoquent des conditions arides et froides, avec un névé se formant au fond de la dépression et alimentant cette dernière en eau de fonte de manière récurrente,

peut-être saisonnière. Il s'agit sans doute des loëss du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2d-2b), déposés dans la doline entre 29 et 17 ka BP environ (Rentzel et al. 2009).

Des dépôts loëssiques laminés se retrouvent en position stratigraphique analogue dans la coupe 4, au bas de la séquence analysée, au-dessus de graviers (échantillons CTD-BBO M10a, M8, M5 et M2). Carbonatés, ils possèdent des traits micromorphologiques similaires à ceux de la coupe 7, avec des apports par ruissellement plus marqués. Des concrétions ferriques confirment le caractère temporaire de cette hydromorphie, dans des conditions froides et arides. Leur mise en place a donc certainement eu lieu au cours du Pléniglaciaire supérieur, plus précisément dans sa première partie (MIS 2d), entre 29 et 24 ka BP environ. Cette hypothèse chronostratigraphique s'appuie sur le fait qu'une lentille de graviers, peut-être mise en place au cours d'un bref interstade plus humide, hypothétiquement vers 23 ka BP environ, vient coiffer ces loëss calcaires. Cette couche graveleuse est elle-même enfouie sous un nouveau loëss, altéré, marqué par un gel profond (échantillons CTD-BBO M7, M1 et M9-partiel). Celui-ci pourrait donc s'insérer entre 23 et 17 ka BP environ (MIS 2c-2b). Après dépôt, des argiles illuviales ont revêtu sa porosité et une nouvelle phase de gel a désorganisé ses constituants.

Sur un contact érosif avec ces loëss se trouvent ensuite des dépôts formés principalement par ruissellement et décantation (échantillons CTD-BBO M9-partiel et M6). Il s'agit de silts enrichis en argiles d'une part sous forme de boulettes issues d'apports latéraux et d'autre part sous forme de revêtements. La succession des faciès révèle une ablation de plus en plus profonde du matériau parental. Au sommet de ces loëss ruisselés, la structure lamellaire est particulièrement bien développée et interagit progressivement avec la sédimentation (échantillon CTD-BBO M4), alors que plus bas, cette fissuration se surimpose aux sédiments (échantillon CTD-BBO M6 et M7). L'action du gel a ainsi généré un horizon fragipan qui indique le sommet d'un paléopergélisol local (van Vliet-Lanoë 2014). Les conditions sont toujours froides, temporairement détrempées lors de la fonte des neiges et pourraient correspondre au début du Tardiglaciaire (MIS 2a), soit au Dryas ancien, entre 17 et 15 ka BP environ. Les phénomènes de décarbonatation et de lessivage des argiles ont effectivement débuté avant 14,6 ka BP dans les loëss du nord-ouest de la Suisse (Brönnimann et al. 2015). Le dépôt de limons loëssiques par ruissellement perdure au cours de l'interstade Bølling-Allerød avec, en parallèle, l'illuviation des argiles en bas de profil. Cependant, l'activité biologique s'intensifie, ce qui conduit à une inscription toujours plus floue des traits micromorphologiques vers le sommet. L'analyse de la couche supérieure de limons brun-jaune, au sommet de l'horizon argilique (échantillon CTD-BBO M3), met en évidence de discrets indices de brûlis certainement liés à la colonisation du site par l'homme, comme à Alle-Noir Bois. Des sédiments holocènes peuvent aussi combler des vides créés par le sous-tirage et donner ainsi naissance à des enclaves de sédiment «jeune» au sein du colmatage de la doline (échantillon CTD-BBO M15).

### 1.4.3 Courtedoux-Sylleux

Localisé également dans une vallée sèche, ce troisième site n'a pas de lien géomorphologique direct avec les deux précédents. Dans l'unique dépression karstique, les trop rares échantillons ont été prélevés de manière hétéroclite, ce qui rend lacunaire tout essai de reconstitution chronologique.

La séquence identifiée par la micromorphologie débute à la base par des loëss en partie géliflués, comprenant des éléments remaniés d'un pédocomplexe plus ancien et des charbons de bois de conifère (échantillon CTD-SYL P6N). Principalement d'origine éolienne, ces dépôts montrent des traces de pédogenèse en milieu hydromorphe, indiquant des arrêts de sédimentation. Les conditions locales sont steppiques et temporairement humides. À l'instar des séquences des deux sites précédents, celles-ci se rapportent certainement à la transition entre la fin du Pléniglaciaire inférieur (MIS 4) et le début du Pléniglaciaire moyen (MIS 3c), de 60 et 54 ka BP. D'autres sédiments loëssiques montrent un faciès apparenté, avec une évolution sur place moins marquée (échantillons CTD-SYL M24 et M27). Postérieurement à leur mise en place dans la doline, ils ont été affectés par une déformation liée à l'affaissement du remplissage, certainement engendré par sous-tirage karstique. Ils sont par conséquent insérés un peu plus tardivement dans la chronologie, soit entre 50 et 40 ka BP environ. Une formation graveleuse, générée par des écoulements sur courte distance en fond de vallée sèche, fait suite aux dépôts loëssiques (échantillon CTD-SYL M26). Déformée, elle pourrait s'insérer dans la succession d'interstades de la fin du Pléniglaciaire moyen (MIS 3a), aux environs de 39-30 ka BP. Les traces de gel se surimposant aux autres traits micromorphologiques sont mises en relation avec le «coup de froid» du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2c-2b).

Les sédiments prélevés dans la coupe 1 proviennent de la partie supérieure du remplissage et les données des autres coupes peuvent être corrélées à ce profil partiel. À sa base, on trouve un loëss faiblement altéré (échantillon CTD-SYL M1), qui pourrait s'être mis en place vers la fin du Pléniglaciaire supérieur (MIS 2b). Il révèle un microfaciès de type «limons à doublets» caractéristique de la terminaison d'un cycle périglaciaire (van Vliet-Lanoë 2005; Antoine et al. 2014). Au-dessus se trouvent des colluvions loëssiques, renfermant des boulettes argileuses remaniées et montrant une microstructure certainement due au gel (échantillons CTD-SYL M28 et M2). Des revêtements d'argiles illuviales apparaissent ensuite, un peu plus haut, dans la porosité. Tous ces traits rappellent, sous une forme moins explicite, ceux de la séquence tardiglaciaire de Béchât Bovais et permettent ainsi de placer ces dépôts colluviaux dans le Dryas ancien (MIS 2a), entre 17 et 15 ka BP environ. L'horizon argilluvial BT, en rapport avec le développement du luvisol de surface, se développe dans la partie supérieure (échantillon CTD-SYL M23). Le phénomène de gonflement-rétraction dû à la présence de smectites (Adatte 2000), couplé à l'activité biologique qui s'intensifie, vient brouiller la lecture au sommet du profil (échantillon CTD-SYL M3).

## 1.5 Conclusion

La nature clairement loessique de plusieurs couches au sein des remplissages est attestée par le très bon classement des particules constitutives, en grande majorité des silts, et surtout par le spectre minéralogique allochtone. Le quartz y domine nettement, accompagné de phyllosilicates (micas blancs et chlorites), plagioclases, grains carbonatés (calcite et calcaire) et de minéraux accessoires (surtout amphiboles et opaques). Déjà identifié en Ajoie sur le site d'Alle-Noir Bois, un tel cortège a été interprété comme produit de la déflation dans la plaine alluviale du Rhin. Dans les dolines de Courtedoux, cette étude révèle que de tels loess se sont certainement accumulés, durant le Dernier Glaciaire, au cours de deux périodes principales : d'une part à la transition entre les Pléniglaciaires inférieur et moyen, vers 60-54 ka BP environ, et d'autre part au cours du Pléniglaciaire supérieur, entre 29 et 17 ka BP environ. En Europe, la sédimentation loessique s'arrête en effet vers 16-15 ka BP, au cours du Dryas ancien (Antoine et al. 2009).

Les autres sédiments ont bien une composante éolienne, mais leur micromorphologie montre qu'ils ont subi un remaniement assorti d'une évolution postérieure, parfois complexe. Dans des conditions globalement froides et d'humidité variable, les phénomènes tels que colluvionnement, déformation et altération ont eu lieu au sein même des dolines. Cependant, des apports latéraux par ruissellement, sur relativement courte distance, ne sont pas à exclure, comme le suggèrent les couches de graviers incluses aux remplissages. Aucun paléosol in situ n'a pu être identifié, les traits pédologiques étant généralement hérités à partir de pédocomplexes développés à proximité. Néanmoins, un horizon fragipan indiquant la présence d'un paléopergélisol a pu être mis en évidence à Béchat Bovais.

Ce fragipan a un caractère local et n'est pas comparable avec celui, beaucoup mieux marqué, des terrasses alluviales étagées dans le paysage jurassien (Braillard et Guélat 2008). Sur ce même site, l'enregistrement stratigraphique jouit d'une bonne résolution allant de la fin du Glaciaire Précoce jusqu'à l'Holocène. Le sédiment considéré comme le plus ancien dans cette étude, d'un âge postulé de 90-70 ka BP, provient de la combe de Vâ Tche Tchâ. Les sédiments prélevés dans quatre dolines ont des microfaciès similaires à Béchat Bovais. En revanche, ceux de la dépression karstique du Sylleux paraissent assez distincts, ce qui pourrait s'expliquer par un contexte isolé des deux autres sites.

Si le dépôt des loess francs évoqué plus haut a eu lieu lorsque le fond des dolines était étanche, du sous-tirage karstique est impliqué de manière récurrente dans les interprétations phénoménologiques, et ce vraisemblablement au cours de deux transitions principales : au passage du Glaciaire précoce au Pléniglaciaire inférieur, vers 80-70 ka BP environ, et entre les Pléniglaciaires moyen et supérieur, vers 35-30 ka BP environ. Ce résultat est compatible avec les phases d'érosion mises en évidence sur le site d'Alle-Noir Bois. L'ampleur du phénomène ne peut être estimée. Mais de récentes datations sur des spéléothèmes du réseau karstique de Milandre (Affolter et al. 2015; Häuselmann 2015), qui s'étend à quelques kilomètres au nord des dolines étudiées, incitent à penser que le soutirage a été globalement faible au cours du Dernier Glaciaire.

Au final, il faut relever qu'aucun indice d'occupation humaine n'a pu être détecté dans les lames minces de Courtedoux, à l'exception de traces indirectes de brûlis apparaissant au sommet des coupes de Béchat Bovais. Mais il s'agit là de sédiments holocènes.

## Remerciements

De sincères remerciements s'adressent à Nigel Thew, responsable de projet, pour la transmission de la documentation existante et des échantillons complémentaires. Merci également aux personnes suivantes, qui m'ont épaulé à des degrés divers dans ce travail :

- Thomas Beckmann (D-Braunschweig, laboratoire indépendant) et Willy Tschudin (Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Basel), pour la fabrication des lames minces ;
- Sarah Lo Russo (Laboratoire de géoarchéologie de l'IPNA-Integrative Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie, Universität Basel), pour la préparation des échantillons complémentaires ;
- Christine Pümpin (Laboratoire de géoarchéologie de l'IPNA), pour les discussions enrichissantes et la littérature transmise ;
- Philippe Rentzel, responsable du Laboratoire de géoarchéologie de l'IPNA, pour la mise à disposition de l'appareillage d'imagerie microscopique ;
- Beatrix Ritter, pour le scannage à haute résolution des lames minces.

Merci enfin à Wolfgang Hug, responsable de la Paléontologie A16 (jusqu'à fin 2016), de la confiance accordée.

## Bibliographie

- Adatte T. 2000: Étude minéralogique des loëss. In: Aubry D., Guélat M., Detrey J., Othenin-Girard B. et al.: *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 81-88 (Cahier d'archéologie jurassienne 10).
- Affolter S., Häuselmann A., Fleitmann D., Häuselmann P. & Leuenberger M. 2015: Triple isotope ( $\delta D$ ,  $\delta^{17}O$ ,  $\delta^{18}O$ ) study on precipitation, drip water and speleothem fluid inclusions for a Western Central European cave (NW Switzerland). *Quaternary Science Reviews* 127, 73-89.
- Antoine P., Rousseau D.-D., Zöller L., Lang A., Munaut A.-V., Hatté C. & Fontugne M. 2001: High-resolution record of the last Interglacial-glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequences, Upper Rhine Area, Germany. *Quaternary International* 76/77, 211-229.
- Antoine P., Rousseau D.-D., Moine O., Kunesch S., Hatté C., Lang A., Tissoux H. & Zöller L. 2009: Rapid and cyclic aeolian deposition during the Last Glacial in European loess: a high-resolution record from Nussloch, Germany. *Quaternary Science Reviews* 28, 2955-2973.
- Antoine P., Goval É., Jamet G., Coutard S., Moine O., Hérissou D., Auguste P., Guérin G., Lacroix F., Schmidt E., Robert V., Debenham N. & Meszner S. 2014: Les séquences loessiques Pléistocène supérieur d'Havrincourt (Pas-de-Calais, France): stratigraphie, paléoenvironnements, géochronologie et occupations paléolithiques. *Quaternaire* 25.4, 321-368.
- Baize D. & Girard M.-C. (dir.) 1995: *Référentiel pédologique*. Association française pour l'étude des sols (AFES) et Institut national de la recherche agronomique (INRA), Paris, 332 p. (Techniques et pratiques).
- Braillard L. & Guélat M. 2008: Une nappe alluviale étagée du Pléistocène supérieur dans la vallée de Delémont (Jura suisse): lithostratigraphie et datation. *Quaternaire* 19.3, 217-228.
- Brönnimann D., Rentzel P., Sedlmeier J., Wick L. et al. 2015: Karstspalte Schachlete. Ein Archiv der spätglazialen und holozänen Landschafts- und Klimageschichte. In: Sedlmeier J.: *Die letzten Wildbeuter der Eiszeit. Neue Forschungen zum Spätpaläolithikum im Kanton Basel-Landschaft*. Schwabe, Basel, 210-241 (Schriften der Archäologie Baselland 51).
- Bullock P. et al. 1985: *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publishers, Wolverhampton, 152 p.
- Courty M.-A., Goldberg P. et Macphail R. 1989: *Soils and micromorphology in archaeology*. University Press, Cambridge, 344 p. (Cambridge manuals in archaeology).
- Guélat M. 1997: Alle, Noir Bois: analyse micromorphologique de la coupe 33. In: Othenin-Girard B. et al.: *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 36-39 (Cahier d'archéologie jurassienne 7).
- Guélat M. 2000: Approche micromorphologique. In: Aubry D., Guélat M., Detrey J., Othenin-Girard B. et al.: *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 61-80 (Cahier d'archéologie jurassienne 10).
- Guélat M. 2006: Le Quaternaire dans le canton du Jura. Les témoins de la période géologique la plus récente et leur signification. *Actes 2005 de la Société jurassienne d'Émulation*, 9-31.
- Häuselmann A. 2015: *Late Quaternary and Holocene paleoclimate and paleoenvironmental reconstructions – a multi-proxy approach on Swiss speleothems*. Institute of Geological Sciences, Université de Berne (Thèse de doctorat, document inédit).
- Lisiecki L. & Raymo M. 2005: Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}O$  records. *Paleoceanography* 20.1, 1-17.
- Masserey C., Pousaz N., Guélat M. et al. 1987: *Prospection archéologique: sondages en Ajoie et dans la vallée de Delémont*. Office du patrimoine historique, Porrentruy, 60 p. (Archéologie et Transjurane 2, rapport inédit).
- Paupe P. et al. 1999: *Restes de mammouth dans un remplissage karstique à Courtedoux (JU)*. *Fouilles préliminaires 1998*. Office du patrimoine historique, Porrentruy, 61 p. (Archéologie et Transjurane 65, rapport inédit).
- Paupe P. et al. 2000: *Sondages sur la section 2 de l'A16. Fouilles 1999*. Office du patrimoine historique, Porrentruy, 191 p. (Archéologie et Transjurane 71, rapport inédit).
- Rasmussen S. et al. 2014: A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland icecore records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Science Reviews* 106, 14-28.
- Rentzel P., Preusser F., Pümpin C. & Wolf J.-J. 2009: Loess and Palaeosols on the High Terrace at Sierentz (France), and Implications for the Chronology of Terrace Formation in the Upper Rhine Graben. *Swiss Journal of Geosciences* 102, 387-401.
- Stalder L. et al. 2000: *Restes de mammouths dans un remplissage karstique à Courtedoux (JU, Suisse)*. Office du patrimoine historique, Porrentruy, 54 p. (Archéologie et Transjurane 73, rapport inédit).
- Stalder L. et al. 2001: *Restes de mammouths dans un remplissage karstique à Courtedoux (Jura, Suisse)*. Rapport 2000. Office du patrimoine historique, Porrentruy, 47 p. (Archéologie et Transjurane 83, rapport inédit).
- Stoops G., Marcelino V. & Mees F. (éd.) 2010: *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam, 720 p.
- van Vliet-Lanoë B. 1988: *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest*. Université de Paris I, Sorbonne, 845 p. (Thèse de doctorat, document inédit).
- van Vliet-Lanoë B. 1990: Le pédocomplexe de Warneton: où en est-on? Bilan paléopédologique et micromorphologique. *Quaternaire* 1, 65-76.
- van Vliet-Lanoë B. 2005: *La planète des glaces. Histoire et environnements de notre ère glaciaire*. Vuibert, Paris, 470 p.
- van Vliet-Lanoë B. 2014: *Les environnements froids. Glaciaire et périglaciaire*. Vuibert, Paris, 408 p.

## Annexe 1 – Inventaire des lames minces et examen microscopique préliminaire

Site	Profil	Lame	Mots clés	Note
Courtedoux - Vâ Tche Tchâ	Doline V1	435	COL, LS, CA, ML, IC, MO	Lame médiocre
	Doline V2	M1.1	LS, DEC, HY, TG	
		M1.2	LS, DEC, HY, TG, BIO	
		M2.1	LS, HY, BIO	
		M2.2	LS, HY, BIO, TG	
	Doline V3	M1.1	LS, HY, IL, IP	
		M1.2	LS, HY, IL, IP, BIO	
		M2.1	LS, IP, HY, BIO	
		M2.2	LS, RUS, IP, HY, COL, IL	
	Doline V8	M1.1	LS, COL, IL, CHB, MO, BT, TG, HY	
		M1.2	LS, COL, IL, CHB, MO, BT, TG, HY	
		M2.1	LS, DEC, HY, BIO	
		M2.2	LS, DEC, HY, BIO	
		M3.1	LS, TG, DEC, CA, ML	
		M3.2	LS, TG, DEC, CA, ML	
		M5.1	LS, DEC, HY, TG	
		M5.2	LS, DEC, HY, OS, TG	Holocène
Courtedoux - Béchat Bovais	Coupe 4	M1	LS, BIO, BT, HY	
		M2	LS, HY, IL, TG, DEC	
		M3	LS, BIO, CHB, HY, BIO, IP	Lame sale
		M4	LS, RUS, DEC, TG, BT, IL, HY	
		M5	LS, RUS, ML, HY, TG	Lame sale
		M6	LS, RUS, DEC, TG, BT, IL, HY, IP	
		M7	LS, TG, IL, HY, BT, IP	
		M8	LS, RUS, DEC, ML, CA, HY, TG	Lame médiocre
		M9	LS, RUS, DEC, MO, TG, HY, CA	Lame fendue
		M10-a	LS, RUS, DEC, ML, HY, CA	
	Coupe 7	M10-b	LS, RUS, DEC, ML, CA	
		M11	LS, RUS, DEC, BIO	
		M12	LS, COL, RUS, BT, HY, TG	
		M13	LS, COL, BT, HY, TG	
		M14	LS, COL, BT, CHB, BIO, CA, TG, IP	Lame rayée
		M15	LS, COL, BIO, CHB, IP	Holocène
		M16	LS, CA, BIO, CHB, HY, ML	
		M18.1	LS, COL, BT, HY, MO, CB, TG, IP, TF?	
		M18.2	LS, COL, BT, HY, MO, CHB, TG	
Courtedoux - Sylleux	Coupe 1	M1	LS, TG, HY, IP	
		M2	COL, HY, BT, IL, BIO, IP	
		M3	COL, BT, IL, IP, BIO	
		M4	COL, CHB, MO, IP, BIO	
		M5	COL, CHB, BIO, MO, IP	Holocène
	Coupe 2	P4N	COL, CHB, BIO, MO	Holocène
		P5N-a	COL, CHB, BIO, MO, IP	Holocène
		P5N-b	COL, CHB, BIO, MO, IP	Holocène
		P6N	LS, IL, COL, HY, CHB, TG, IP	
	Coupe 4	M20	COL, CHB, BIO	Holocène
		M21	COL, CHB, BIO	Holocène
		M22	COL, BIO, HY	Holocène
		M23	LS, COL, IL, BT, HY, FO, CHB	
	Coupe 5	M24	LS, COL, HY, TG, IL, IP	
		M26-a	CA, LS, TG, IL, IP	
		M26-b	CA, LS, TG, IL, IP	
		M27	LS, TG, IL, HY, COL	
		M28	LS, COL, IL, IP, HY, BT	

BIO	Bioturbation
BT	Horizon argilique (ou argilluvial)
CA	Sédiment à composant(s) carbonaté(s)
CHB	Charbons de bois
COL	Colluvions
DEC	Dépôt de décantation (fin, granoclassés et lité)
HY	Trace d'hydromorphie
IC	Illuviation de carbonates
IL	Illuviation d'argiles limpides (argilanes)
IP	Illuviation poussiéreuse (ou silto-organique)
LO	Limon organique
LS	Loess
ML	Mollusques quaternaires (coquilles)
MO	Matière organique
OS	Fragment d'os (faune quaternaire seulement)
RUS	Dépôt de ruissellement
TF	Trace de feu
TG	Trace de gel







# 2

## **Les micromammifères (Rodentia et Soricomorpha) du Pléniglaciaire moyen et inférieur de plusieurs dolines ajoulotes : paléontologie et paléoenvironnement**

Julien Oppliger



## 2.1 Introduction

Les micromammifères, c'est-à-dire les rongeurs, les soricomorphes ou encore les chiroptères, représentent près de 70 % de la diversité taxonomique des mammifères mondiaux. Rien qu'en Suisse, il en est dénombré actuellement, en excluant les espèces invasives, une soixantaine de taxons. Cette diversité n'a pas toujours été la même au cours du Quaternaire, car le peuplement de cette zone géographique en particulier a été fortement influencé par les conditions climatiques et environnementales évoluant entre l'alternance de périodes froides et plus clémentes. Ces changements ont entraîné des modifications du paysage expliquant par exemple la présence particulière comme le campagnol nordique en Ajoie il y a plus de 30 000 ans. L'aire de distribution actuelle de ce rongeur est localisée sur un territoire compris entre le nord-est de l'Europe et de l'Alaska.

En effet, chaque espèce recherche, pour sa survie, des biotopes qui doivent répondre à des exigences vitales relativement précises, notamment en termes d'alimentation, de reproduction et de protection. Mais lorsque l'habitat d'une espèce se modifie à la suite d'un bouleversement climatique et qu'il ne permet plus à l'animal de subsister, on assiste alors à une modification de l'aire de répartition. Progressifs, ces changements se traduisent par la recherche d'environnements favorables à des latitudes et/ou altitudes différentes. Cette particularité écologique et la diversité de taxons de micromammifères découverts dans un site archéologique/paléontologique offrent ainsi d'intéressantes perspectives dans l'étude des paléoenvironnements. Ainsi, sur la base de l'étude des vestiges osseux, mais surtout dentaires, des microvertébrés découverts dans plusieurs dolines ajolotes, nous sommes à même de fournir des données relatives à la paléontologie de ces espèces et de proposer une reconstitution de l'environnement aux alentours de ces sites datés en sens large du Pléniglaciaire moyen pour tous, à l'exception d'un, attribué au Pléniglaciaire inférieur.

En raison de leur petite taille, la découverte de vestiges de micromammifères dans les sites paléontologiques et archéologiques nécessite le recours à des techniques de fouille exigeantes et plutôt chronophages, comme un tamisage fin et un tri minutieux des sédiments sous une loupe binoculaire. Toutes ces conditions réunies lors des fouilles de plusieurs dolines situées le long du tracé de la Transjurane, entre Boncourt et Porrentruy, ont permis la mise au jour non seulement de plusieurs milliers de restes osseux et dentaires de micromammifères, mais aussi d'une espèce rare dans les thanatocénoses des gisements européens du Pléistocène supérieur, la siciste des bouleaux *Sicista betulina* Pallas, 1779.

L'étude de l'ensemble des restes de micromammifères découverts dans onze dolines situées sur le tracé de la Transjurane entre Boncourt et Porrentruy vient compléter une documentation très lacunaire à l'échelle nationale en apportant de précieux renseignements en termes de paléoécologie, paléobiogéographie et paléoenvironnement durant le Pléniglaciaire moyen (MIS 3) et, dans une moindre mesure, inférieur (MIS 5).

## 2.2 Sites et matériel

Les niveaux contenant les vestiges de micromammifères analysés (fig. 21) sont tous datés du Pléniglaciaire moyen, soit durant le stade isotopique MIS 3, sauf le site de Boncourt-Grandes Combes, plus ancien, qui se place durant le Pléniglaciaire inférieur (MIS 5). La découverte de ces microvertébrés a été possible grâce à un tamisage fin des sédiments (maille des tamis de 0,25 mm), suivi d'un tri minutieux des refus de tamis sous une loupe binoculaire.

n°	Code	Site	Lieu	Année	Chronostratigraphie	MIS
1	LGC	Grandes Combes	Boncourt	2002	Pléniglaciaire inférieur ?	5
2	NBS	Neu Bois	Boncourt	2005	Pléniglaciaire moyen	3
3	VTA-V1	Vâ Tche Tchâ, doline V1	Courtedoux	2006	Pléniglaciaire moyen	3
4	VTA-V2	Vâ Tche Tchâ, doline V2	Courtedoux	2006	Pléniglaciaire moyen	3
5	VTA-V5	Vâ Tche Tchâ, doline V5	Courtedoux	2006	Pléniglaciaire moyen	3
6	VTA-V6	Vâ Tche Tchâ, doline V6	Courtedoux	2007	Pléniglaciaire moyen	3
7	VTA-V7	Vâ Tche Tchâ, doline V7	Courtedoux	2007	Pléniglaciaire moyen	3
8	VTA-V8	Vâ Tche Tchâ, doline V8	Courtedoux	2010, 2011	Pléniglaciaire moyen	3
9	VTA-V14	Vâ Tche Tchâ, doline V14	Courtedoux	2007	Pléniglaciaire moyen	3
10	BBO	Béchat Bovais	Courtedoux	2009	Pléniglaciaire moyen	3
11	SYL	Sylleux	Courtedoux	1999, 2000	Pléniglaciaire moyen	3

Fig. 21. Liste des dolines dont les restes dentaires et osseux de micromammifères ont été analysés. Pour certains sites, les échantillons sont issus de deux campagnes de fouille différentes.

## 2.3 Méthode

### 2.3.1 Nomenclature et terminologie

La nomenclature taxonomique utilisée se rapporte à l'ouvrage de Wilson & Reeder (2005). Quant à la citation d'un taxon, elle suit les recommandations du code de la Commission internationale de nomenclature zoologique (1999, 4<sup>e</sup> édition).

La taxonomie du genre *Arvicola* en Europe est relativement complexe et a subi ces dernières années d'importantes modifications. Encore récemment, ce genre ne comptait que deux espèces : *Arvicola sapidus* Miller, 1908 et *Arvicola terrestris* L., 1758 pour la zone géographique concernée (Mitchell-Jones et al. 1999). *A. terrestris* était séparé en deux écotypes, une forme fouisseuse (*A. terrestris scherman*) et une aquatique (*A. terrestris amphibius*) (Le Louarn & Quéré 2003). Wust-Saucy (1998) relève également la présence d'une forme de transition entre ces deux sous-espèces. À la suite de révisions taxonomiques, *A. terrestris* a été abandonné pour *A. amphibius* (Wilson & Reeder 2005), espèce qui a, par la suite, été divisée en *A. amphibius* (L., 1758) et *A. scherman* Shaw, 1801 (Amori et al. 2008). En raison de la complexité de la systématique de ce groupe, de l'absence de critères de distinction morphologique et de données écologiques lacunaires, nous avons préféré considérer ces deux espèces sous la dénomination *A. groupe amphibius*, comme l'ont suggéré Paunescu & Brunet-Lecomte (2013).

La terminologie utilisée pour la description des molaires est issue de van der Meulen (1973) et de Kawamura (1988) pour les Arvicolinae, de Pucek (1982) pour le genre *Sicista*, de Michaux (1971) et Kawamura (1988) pour les Muridae. Pour les Soricidae et les Talpidae, sur les travaux de Jammot (1971) et Chaline et al. (1974).

### 2.3.2 Détermination

La détermination des restes dentaires des corpus analysés a été essentiellement réalisée à l'aide d'une clé de détermination que nous avons élaborée en 2008 dans le cadre de notre travail de diplôme (Oppliger 2008). Régulièrement mis à jour, ce travail est une compilation d'une part des critères de détermination publiés par d'autres auteurs (voir bibliographie dans Oppliger 2008), et d'autre part d'observations morphologiques et biométriques réalisées par nos soins sur des spécimens de collections provenant notamment du Musée d'histoire naturelle de la Ville de Genève. Elle compte à ce jour plus de 110 espèces de micromammifères susceptibles d'être rencontrées dans les gisements holocènes et du Pléistocène supérieur d'Europe de l'Ouest. En complément à cet outil précieux, nous avons eu recours à notre collection de comparaison, en particulier pour l'identification des rares éléments osseux.

La détermination spécifique des espèces des genres *Microtus* et *Arvicola* a uniquement été réalisée sur la première molaire inférieure (m1). En effet, seule cette dent présente une morphologie réellement distinctive. Pour les autres taxons, nous avons pris en compte d'autres éléments anatomiques, principalement dentaires, et parfois mandibulaires notamment pour les *Soricidae*. La robustesse des os de *Talpa* en comparaison aux autres espèces de micromammifères ainsi que leur morphologie caractéristique rendent ces pièces aisément identifiables.

Dans les échantillons analysés, nous avons été fréquemment confrontés à des fines lamelles de molaires, qui correspondent à des dents de la sous-famille des *Arvicolinae*. En raison de la fragmentation de ces éléments, nous n'avons pas été en mesure de les déterminer. Il en est de même pour les incisives de rongeurs, qui appartiennent vraisemblablement toutes à des rongeurs de petite taille, c'est-à-dire dont les dimensions corporelles sont égales ou inférieures à celles d'*Arvicola gr. amphibius*.

### 2.3.3 Biométrie et analyses statistiques

Pour les mesures, nous avons utilisé un oculaire micrométrique monté sur une loupe binoculaire Olympus SZ51. Pour les os de taille plus importante, comme ceux du genre *Talpa*, nous avons eu recours au pied à coulisse Sylvac S-Cal pro (précision  $\pm 0,01$  mm) avec transfert de données sur l'ordinateur. Toutes les données sont données en millimètres et figurent dans l'Annexe 3.

Afin de reproduire à l'identique les mesures des m1 d'*Arvicolinae*, ces dernières ont été alignées dans l'axe formé par l'extrémité des angles saillants des triangles T1 et T3. La distance entre ces deux points et l'extrémité de l'angle saillant du triangle T2 donne la largeur (W), et celle entre les extrémités des boucles antérieure et postérieure permet d'obtenir la longueur (L).

Pour certains taxons, comme *Microtus arvalis* et *Microtus agrestis*, nous avons évalué le degré de symétrie entre les triangles externes et internes, et ce afin de préciser nos déterminations,

en particulier pour ces deux espèces morphologiquement très similaires. La méthode, mise au point par Cabrera-Millet et al. (1982), consiste au rapport de la distance de l'angle saillant du triangle T2 à l'angle rentrant A3 et de la distance de l'angle saillant du triangle T3 à l'angle rentrant A4.

Pour le genre *Talpa*, les mesures réalisées sur le radius, l'humérus et l'ulna se réfèrent à Popov (2004). Nous avons complété ces données pour le fémur par les mesures de la longueur et de la largeur de la partie antérieure, et par les mesures des largeurs des parties antérieures et postérieures du tibia.

Un seul test statistique a été pris en compte dans cette étude. Il s'agit du test de t pairé, qui permet de comparer des échantillons appariés, comme des séries de mesures faites à deux reprises sur les mêmes individus. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du programme PAST (PALaeontological STatistics) (Hammer et al. 2001). Pour ce test, nous avons opté pour un seuil de signification  $\alpha = 5\%$  ( $p < 0.05$ ).

### 2.3.4 Quantification

Dans ce travail, nous avons retenu les deux paramètres de quantification les plus fréquemment employés dans les études archéozoologiques, c'est-à-dire, le nombre de restes (NR) et le nombre minimum d'individus (NMI). Le nombre de restes (NR) est le décompte de l'ensemble des restes déterminés et indéterminés. Toutefois, si deux fragments ont pu être recollés, ils ne comptent alors plus que pour un seul reste. D'acquisition simple, le NR présente néanmoins l'inconvénient d'être étroitement lié au degré de fragmentation d'un assemblage (Chaplin 1974), ce qui n'est pas le cas du NMI (Gautier 1984; Grayson 1984). Le NMI permet d'estimer le nombre de spécimens en prenant en compte les données relatives à l'élément anatomique, au taxon et à la latéralisation, ainsi que le contexte archéologique.

Le recours à d'autres données, comme la taille des pièces, permet d'affiner encore le décompte du NMI. Dans cette étude, le NMI a été établi sur la base de l'élément squelettique le plus abondant dans chaque assemblage, tout en tenant compte de sa latéralité dans le cas d'éléments pairs.

### 2.3.5 Paléoenvironnement

Pour sa survie, une espèce a des exigences relativement spécifiques qui caractérisent son habitat. En connaissant les caractéristiques des biotopes fréquentés par les taxons identifiés dans un site paléontologique/archéologique, il est alors possible de proposer une reconstitution des conditions environnementales au moment de la mort de ces spécimens. Il convient également de préciser que les espèces déterminées dans des assemblages contemporains aux sites étudiés sont, à quelques exceptions, près encore présentes de nos jours en Europe. Cette démarche dite actualiste considère que les exigences des taxons encore présents de nos jours n'ont pas changé au cours du temps.

L'étude paléoenvironnementale réalisée dans ce travail repose sur deux méthodes complémentaires, l'auto-écologie et l'écologie quantifiée. La première est basée sur les données éco-éthologiques des micromammifères actuels d'après notamment Hausser (1995), Mitchell-Jones et al. (1999), Michelat et al. (2005) et Aulagnier et al. (2008). La seconde, développée par Jeannet (2010a), permet quant à elle de proposer des données quantifiées des paramètres climatiques et environnementaux. Cette méthode est construite, d'une part, sur la base de relevés météorologiques (température moyenne annuelle, température moyenne du mois le plus chaud/froid, quantité de précipitations...) compris dans l'aire de répartition actuelle de chaque espèce de microvertébrés et, d'autre part, sur la base des données écologiques, qui permettent pour chaque espèce identifiée de quantifier le pourcentage de fréquentation des différents éléments formant un biotope (couvert végétal et hygrométrie du sol).

### 2.3.6 Taphonomie

Les études taphonomiques permettent d'expliquer les différentes étapes ayant conduit à l'accumulation des vestiges, dans notre cas de microvertébrés. L'objectif est de pouvoir non seulement identifier les processus de concentration primaire (catastrophocénose, nécrocénose et coprocénose), mais également reconnaître les différentes phases se déroulant lors de la sédimentocénose et de la taphocénose (Denys 1985).

Dans une majorité de sites paléontologiques et archéologiques, il est admis que la plupart des restes osseux de microvertébrés proviennent d'une ou de plusieurs accumulations de pelotes de réjection de rapaces. L'identification du/des prédateur(s), s'il s'agit d'une coprocénose, est alors nécessaire pour pallier certains biais dus à leur éventuelle spécialisation alimentaire, afin de proposer une meilleure interprétation paléoenvironnementale (Kowalski 1990; Denys et al. 1997; Sanchez et al. 1997).

La première étape, basée sur la méthode proposée par Dodson & Wexlar (1979), consiste à évaluer les pourcentages de représentation (PR) des différents éléments squelettiques. Elle se base à la fois sur la fréquence observée (FO) de chaque type d'ossement présent dans le gisement, et sur sa fréquence théorique (FT) de représentation pour un individu complet (soit pour un rongeur, comme *Microtus arvalis*: 1 crâne, 12 molaires, 2 mandibules, 2 coxaux, 2 fémurs, 2 tibias, 2 fibulas, 2 astragales, 2 calcaneus, 2 scapulas, 2 humérus, 2 radius, 2 ulnas, 20 métatarsiens et métacarpiens (métapodes), 56 phalanges, 1 sacrum, 24 côtes et 54 vertèbres). De plus, à partir du PR et du nombre de pièces complètes observées (nb CO) dans l'assemblage, il est possible de déduire le pourcentage de fragmentation (PF).

## 2.4 Résultats

### 2.4.1 Spectre faunique

Grâce à un tamisage fin des sédiments et à un tri très minutieux, 5923 restes de micromammifères et 3 restes de reptiles ont pu être analysés. Ce matériel provient en grande partie (53%)

de la doline VTA-V1, et dans une moindre mesure de BBO (16%), de SYL (10%), de VTA-V8 (8%) et de VTA-V7 (7%) (fig. 22). Le pourcentage restant (4%) se répartit entre les cinq autres sites étudiés. À l'exception du site VTA-V1, le matériel est composé majoritairement d'éléments dentaires (99%), souvent très fragmentés. À VTA-V1, les restes dentaires ne représentent que 45% de l'ensemble des vestiges.

Au total, nous avons identifié, pour l'ordre Rodentia, 7 espèces et 6 genres. *Arvicola* gr. *amphibius* est le taxon le plus fréquent, suivi de *Microtus arvalis* et de *Sicista betulina*. Morphologiquement proche, il n'a pas été toujours possible de différencier *M. arvalis* de *M. agrestis*. Relevons également la présence de *Microtus oeconomus* et de *Chionomys nivalis*, aujourd'hui absents de cette région.

*Sicista betulina*, une rareté dans les thanatocénoses des gisements européens du Quaternaire a été retrouvée dans deux gisements (VTA-V1 et SYL). Cette découverte permet ainsi de disposer d'un corpus significatif de données biométriques et d'observations morphologiques offrant d'intéressantes perspectives pour la distinction de ce taxon de *Sicista subtilis*. L'étude morphométrique de ces éléments dentaires ayant déjà fait l'objet d'une publication spécialisée, nous renvoyons à l'article de Oppliger & Becker (2010).

Le genre *Apodemus* est signalé uniquement dans la doline BBO. Il s'agit de deux individus. Le premier (*Apodemus* sp.), localisé dans le niveau loessique, est un spécimen presque complet (sans la tête). Le second, trouvé à la base du remplissage, a pu être déterminé précisément (*Apodemus flavicollis*) grâce à la découverte d'une m1 parfaitement conservée. Toujours concernant cette doline, nous avons identifié deux molaires appartenant au genre *Myodes* (ou anciennement *Clethrionomys*). En l'absence non seulement de m1, mais également de critères pour la distinction de trois espèces proches, nous n'avons pas été en mesure de préciser notre détermination.

Quant à l'ordre Soricomorpha, il est représenté par trois genres et deux espèces. *Talpa europaea* est le taxon le plus fréquent, mais il n'est signalé que dans les gisements VTA-V1 et VTA-V8. Parmi les Soricidae, le genre *Sorex* et *Neomys* se distinguent des genres *Crociodura* et *Suncus*, par le fait que l'extrémité des dents est de couleur rouge. En raison principalement de la fragmentation importante des vestiges, nous avons identifié une seule espèce, *Sorex* groupe *araneus*. La distinction des trois espèces composant ce groupe repose sur une série de quatre mesures réalisables exclusivement sur des mandibules entières. La majorité des restes de Soricidae proviennent de la doline VTA-V1. Quelques spécimens ont été reconnus dans le remplissage des dolines VTA-V6, VTA-V7, VTA-V8 et BBO.

Parmi les vestiges analysés, nous avons mis en évidence trois vertèbres de Reptilia sp., toutes issues de VTA-V1. Malgré un état de conservation moyen, une étude plus approfondie avec un matériel de comparaison suffisamment important pourrait permettre d'affiner la détermination.

TAXON	LGC		NBS		VTA-V1		VTA-V2		VTA-V5		VTA-V6		VTA-V7		VTA-V8		VTA-V14		BBO		SYL		Total	
	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR	NMI	NR
Rodentia																								
<i>Arvicola</i> gr. <i>amphibius</i>	1	12	1	1	32	197					1	2	1	4									36	216
<i>Chionomys nivalis</i>					1	1																	1	1
<i>Microtus arvalis</i>	1	1			15	27												3	3				19	31
<i>Microtus agrestis</i>					2	3																	2	3
<i>Microtus arvalis/agrestis</i>					11	28																	11	28
<i>Microtus oeconomus</i>	1	1			2	3														1	1		4	5
<i>Myodes</i> sp.																		1	2				1	2
<i>Sicista betulina</i>					14	100																	14	100
<i>Sicista</i> cf. <i>betulina</i>																				1	1		1	1
<i>Apodemus</i> cf. <i>flavicollis</i>																		1	1				1	1
<i>Apodemus</i> sp.																		1	87				1	87
<i>Microtus</i> sp.		1	1	1		192						1	4	1	2			24		12		3	236	
<i>Arvicola</i> sp.				1		54								1	1	1	23	1	13	1	1	4	93	
<i>Arvicolinae</i> sp.		79		3		51	1	5	1	2	1	23		172		238		35		559		343	3	1510
<i>Rodentia</i> sp.		26				695		32				23		208		242		31		224		128		1609
Total Rodentia	3	120	2	6	77	1351	1	37	1	2	2	48	2	388	2	483	1	89	7	913	3	486	101	3923
Soricomorpha																								
<i>Sorex</i> groupe <i>araneus</i>					2	4																	2	4
<i>Sorex</i> sp.					7	32							1	1				1	2				9	35
<i>Sorex/Neomys</i> sp.					1	123					1	1											2	124
<i>Soricidae</i> sp.					1	20													2				1	21
<i>Talpa europaea</i>					4	167									1	1							5	166
Total Soricomorpha					15	346					1	1	1	1	1	1		1	4				19	350
Reptilia																								
Reptilia sp.					1	3																	1	3
Total Reptilia					1	3																	1	3
Mammalia																								
Micromammifères indét.		1				1455		8		2		41		20		3		10		66		102		1708
Total micromammifères		1				1455		8		2		41		20		3		10		66		102		1647
Total	3	121	2	6	93	3155	1	45	1	4	3	90	3	409	3	487	1	99	8	983	3	588	121	5923

Fig. 22. Étude des vestiges de micromammifères des dolines de Boncourt-Grandes Combes, Boncourt-Neu Bois, Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Courtedoux-Béchat Bovais et Courtedoux-Sylleux. Données exprimées en NMI (nombre minimal d'individus) et NR (nombre de restes). Le NMI présenté ici ne tient pas compte de la répartition stratigraphique des échantillons, mais fournit une vision d'ensemble pour chaque site.

## 2.4.2 Paléoenvironnement

En raison de leur inféodation à des biotopes assez précis, les micromammifères sont d'excellents indicateurs paléoenvironnementaux. Les données relatives aux types d'habitats fréquentés par ces animaux, ainsi que leur répartition géographique actuelle constituent la base de la première méthode d'analyse. La seconde se rapporte aux travaux de Jeannet (2010a) et concerne la méthode de l'écologie quantifiée, qui au contraire de la première approche, fournit des résultats quantifiés. En raison du faible nombre d'espèces identifiées, seuls les vestiges des dolines LGC, VTA-V1, BBO et SYL ont été pris en compte.

### 2.4.2.1 Boncourt-Grandes Combes

Il s'agit du plus ancien parmi les sites que nous avons analysés. Les trois espèces déterminées indiquent un environnement ouvert, humide, et relativement frais. Comme pour SYL, c'est encore la forte fragmentation des molaires d'*Arvicolinae* qui explique le peu d'individus et de taxons identifiés.

### 2.4.2.2 Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, doline V1

La découverte dans la doline VTA-V1 de 3155 restes de micromammifères fait de ce site le plus important des gisements étudiés.

Ce nombre important de vestiges permet d'envisager une analyse paléoenvironnementale de plusieurs parties du remplissage. Seuls les échantillons 333, 352, 353 et 359 ont fourni suffisamment d'espèces identifiables pour réaliser une telle approche (fig. 23).

Dans l'échantillon 333, la présence de *Microtus arvalis* indique un milieu plutôt sec, comme le suggère également *Talpa europaea*. Cette constatation est nuancée par *Arvicola* gr. *amphibius*, *Microtus agrestis*, *Microtus oeconomus*, *Sicista betulina* et *Sorex araneus*, qui fréquentent préférentiellement des terrains humides. Quant à *Chionomys nivalis*, une espèce rupicole, sa présence dépend donc en premier lieu de l'existence de zones caillouteuses. Ce taxon se rencontre également sur les pelouses subalpines et alpines présentant une végétation basse et dense, mais parsemée de rocaillles. Les formations herbeuses importantes sont des milieux privilégiés par *Microtus agrestis*, *Microtus oeconomus* et *Sorex araneus*.

Au contraire, *Microtus arvalis* préfère l'herbe rase, donc un milieu clairement ouvert. *Sicista betulina* vit, quant à elle, dans un milieu de végétation ouverte avec des buissons, des conifères ou des bouleaux, comme la taïga et les steppes arborées. *Sorex araneus* se retrouve également dans les zones arbustives.

N° échantillon	324	329	333	346	347	351	352	353	355	359	361	381	382	383	385	397	434	436	446	447	449	451	455	Total/ Moyenne	
Unité	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	19	19	18	18	18	26	26	26	26	26	26	26		
Couche	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
Taxon (NR)																									
<i>Arvicola</i> gr. <i>Amphibius</i>	5		133	6		1	9	19	1	17	6													197	
<i>Chionomys nivalis</i>			1																					1	
<i>Microtus arvalis</i>			19				2	2		2	2													27	
<i>Microtus agrestis</i>			2				1																	3	
<i>Microtus arvalis/agrestis</i>			13					13		1											1			28	
<i>Microtus oeconomus</i>			3																					3	
<i>Sicista betulina</i>			98					2																100	
<i>Microtus</i> sp.	1		57	1			25	105									1			1		1		192	
<i>Arvicola</i> sp.	8		33	9	1			2		1														54	
<i>Arvicolinae</i> sp.			3	3			3	37		3			1							1				51	
<i>Rodentia</i> sp.	39		203	51			67	230		52	5	1	4	1	1	18	1	7		6	1	4	4	695	
<i>Sorex</i> gr. <i>araneus</i>			1				3																	4	
<i>Sorex</i> sp.			13				8	11																32	
<i>Sorex/Neomys</i>			45				41	37																123	
<i>Soricidae</i> sp.			7				7	6																20	
<i>Talpa europaea</i>	5	1	71		1		35	51		1	1							1						167	
Micromammifères indét.	2		644				523	225										50	5	1		5		1455	
Reptilia							1	1		1														3	
Total	60	1	1346	70	2	1	725	741	1	78	14	1	5	1	1	18	1	59	5	9	2	10	4	3155	
Paléoenvironnement																									
(1) Végétation (%)																									
Rocaille			12				0	0		0														3,0	
Prairie			41				64	55		78														59,5	
Broussaille			15				12	12		10														12,3	
Taillis			14				10	10		7														10,3	
Futaie			18				14	23		5														15,0	
(2) Hygrométrie																									
Sec			21				20	17		25														20,8	
Frais			46				64	57		65														58,0	
Marécageux			28				8	20		0														14,0	
Eau			5				8	6		10														7,3	
(3) Température moyenne																									
Annuelle			5,1				5,4	5,2		6,0														5,4	
Mois le plus chaud			20,5				19,7	20,3		19,8														20,1	
Mois le plus froid			-10,6				-8,9	-10,6		-7,8														-9,5	

Fig. 23. Analyses détaillées des vestiges de micromammifères de la doline V1 de Courtedoux - Vâ Tche Tchâ. Les données relatives au paléoenvironnement proviennent de Jeannet 2010a.

Ces résultats sont confirmés par la méthode de l'écologie quantifiée. En effet, les données issues de cette approche montrent que le paysage était principalement ouvert, avec la présence de quelques zones composées d'arbres de dimensions réduites. Cet environnement était également composé d'une part importante d'un sol gardant peu d'humidité, mais également de secteurs clairement marécageux. La température moyenne annuelle devait être, d'après cette méthode, d'environ 5°C, de 20°C pour le mois le plus chaud et de -11°C pour le mois le plus froid.

L'absence de *Sicista betulina* des échantillons 352 et 359, de *Microtus oeconomus* des échantillons 352, 353 et 359, et de *Sorex* gr. *araneus* des échantillons 353 et 359 explique la diminution du pourcentage de zones marécageuses. Le défaut de *Chionomys nivalis* dans tous les autres échantillons exclut la présence de secteurs rocailleux. À notre avis, seul l'échantillon 333 fournit des résultats significatifs pour l'étude du paléoenvironnement.

Les données étant trop lacunaires pour les autres prélèvements, elles doivent donc être interprétées avec beaucoup de réserve.

#### 2.4.2.3 Courtedoux-Béchat Bovais

Malgré le nombre restreint de taxons identifiés, ce site diffère clairement des autres gisements étudiés de par la présence d'*Apodemus flavicollis* et d'une espèce indéterminée appartenant au genre *Myodes*. L'environnement autour du site devait être nettement plus fermé, comme l'indique la découverte d'*Apodemus flavicollis*, mais devait comporter également des secteurs de prairies quelque peu arborées nécessaires à *Microtus arvalis*. La présence de taxons du genre *Sorex* concorde avec l'hypothèse d'un milieu plus fermé. Concernant le genre *Myodes*, il est probable, par analogie avec les thanatocénoses d'autres gisements contemporains, qu'il s'agit de *Myodes glareolus*. Cette espèce affectionne les terrains couverts à forte densité de végétation. Elle est d'ailleurs généralement observée dans les forêts de feuillus et mixtes, dans les sous-bois denses, ainsi que dans les haies.



Quant au sol, il ne devait retenir que très peu d'humidité. En termes climatiques, les températures moyennes annuelles devaient se situer autour de 8°C, d'après la méthode de l'écologie quantifiée.

#### 2.4.2.4 Courtedoux-Sylleux

La fragmentation très importante des molaires d'Arvicolinae dans ce gisement explique la rareté des déterminations spécifiques. Toutefois, nous avons pu identifier *Microtus oeconomus*, ainsi qu'une probable *Sicista betulina*. Ces taxons indiquent un paysage composé d'arbres de petites dimensions et avec un sol surtout marécageux.

#### 2.4.3 Biométrie

Lorsque les éléments dentaires étaient s conservés uffisamment bien, nous avons pu les mesurer. Pour *Talpa europaea*, nous avons également mesuré les principaux os longs. Toutes les mesures sont résumées dans l'Annexe 3.

Pour *Arvicola gr. amphibius*, et bien que les effectifs ne soient pas statistiquement significatifs (n=18), la longueur moyenne des m1 de la population de la doline VTA006-V1 est comparable à celle d'autres gisements de même période chronologique, comme la baume de Gigny (couches XIXa, XIXc, XX) (Abbassi et al. 1998). Par contre, leur taille est plus importante que celle des populations du gisement post-glaciaire du Creux-de-l'Ourse (Asuel, JU) (Bessire 1977), au contraire des m1 de *Microtus arvalis* (n=19), dont les dimensions sont similaires.

La découverte dans la doline VTA-V1 de 100 dents de *Sicista betulina* constitue une série unique pour le Pléistocène supérieur d'Europe. La comparaison des mesures de ces éléments avec ceux découverts dans d'autres gisements européens (Oppliger & Becker 2010) a permis de montrer que la population de VTA-V1 s'inscrit dans la variabilité dimensionnelle des populations du Pléistocène. Elle est toutefois plus grande que les populations actuelles observées en Europe de l'Est. En complément d'observations morphologiques, les mesures réalisées apportent des éléments complémentaires pour l'identification de cette espèce, mais aussi pour la distinction de *Sicista subtilis* (Oppliger & Becker 2010).

Les mesures effectuées sur les humérus de *Talpa* ont surtout permis d'écarter *Talpa caeca* et de déterminer de manière certaine *Talpa europaea*.

À l'aide du test de Student (t) pairé, nous avons comparé les valeurs de mesures effectuées à deux reprises dans le temps. Les résultats, c'est-à-dire la valeur p, indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux séries de mesures. Ainsi, nos données peuvent être considérées comme précises et répétables.

#### 2.4.4 Taphonomie

L'étude taphonomique n'a pu être entreprise que pour les vestiges de la doline VTA-V1, car c'est le seul site dont le nombre de restes de micromammifères est suffisamment important.

Dans cet assemblage, ce sont les molaires et les incisives qui dominant, alors que les vertèbres, maxillaires et scapula sont mal représentés (fig. 24). L'excellente qualité du tri peut expliquer le bon pourcentage de représentation (PR) des phalanges qui, dans ce genre d'étude, font souvent défaut (Sanchez et al. 1997). Dans la thanatocénose de VTA-V1, les rongeurs et les soricidés sont mieux représentés par les restes dentaires que par les éléments osseux, alors que pour *Talpa europaea*, dents et os fournissent de bons effectifs.

Sanchez et al. (1997) proposent d'utiliser un rapport (PRm) qui consiste à comparer la proportion des principaux os longs à celle des mandibules, crânes et molaires, pondérée par le nombre théorique de chaque élément compris dans la formule. Pour le site étudié (PRm=37,9), l'abondance des molaires compense l'absence des mandibules et maxillaires, indiquant ainsi une plus forte proportion d'éléments crâniens que post-crâniens, ce qui semble être concordant avec l'étude de la grande faune (Becker et al. 2009). À partir du pourcentage de représentation et du nombre de pièces complètes observées (nb CO) dans l'assemblage, il est possible de déduire le taux de fragmentation (PF) (fig. 24). Pour notre site d'étude, il est supérieur à 90%, même pour *Talpa europaea* qui a pourtant des os plus résistants que ceux des rongeurs par exemple.

Les valeurs du PR et du PF de chaque élément anatomique peuvent être comparées à des modèles établis à partir de l'étude des pièces squelettiques provenant de déjections actuelles de plusieurs espèces de rapaces et de carnivores. L'objectif étant de pouvoir déterminer un possible agent accumulateur. Les données obtenues pour VTA-V1 ont été comparées aux profils établis par Andrews (1990) pour diverses espèces de rapaces nocturnes et diurnes, ainsi que de carnivores (Annexe 4). Les résultats de cette comparaison ne sont pas probants, ce qui suggérerait, soit l'action d'un ou d'autres facteurs avant, voire après l'enfouissement, soit alors l'existence d'un tout autre agent accumulateur.

Anatomie	FO	FT	PR (%)	Nb CO	%	PF (%)
Mandibule	32	186	17,2	0	0,0	100,0
Maxillaire	3	93	3,2	2	66,7	33,3
Scapula	8	186	4,3	0	0,0	100,0
Humérus	43	186	23,1	1	2,3	97,7
Radius	15	186	8,1	1	6,7	93,3
Ulna	18	186	9,7	0	0,0	100,0
Coxal	5	186	2,7	0	0,0	100,0
Fémur	25	186	13,4	3	12,0	88,0
Tibia	21	186	11,3	0	0,0	100,0
Vertèbre	70	5022	1,4	-	-	-
Incisive	254	372	68,3	-	-	-
Molaire	480	1116	43,0	-	-	-
Phalange	757	5208	14,5	-	-	-
Métapode	307	1860	16,5	-	-	-

Fig. 24. Étude taphonomique. Synthèse des résultats pour les micromammifères de la doline V1 de Courtedoux - Vâ Tche Tchâ.

FO fréquence observée  
 FT fréquence théorique  
 PR pourcentage de représentation  
 Nb CO nombre d'éléments complets  
 PF pourcentage de fragmentation  
 NMI pris en compte : 93

### 2.4.5 Chronologie

L'observation des surfaces occlusales des molaires de *Arvicola* gr. *amphibius* a permis de constater que l'épaisseur de l'émail est plus importante sur la partie antérieure des molaires. Ceci permet d'écarter *A. cantiana* (Hinton 1910) et ainsi d'être en accord avec la position chronologique des différents remplissages des dolines étudiées. En effet, *A. cantiana* subsiste jusqu'à l'Éémien, avant de se scinder en deux espèces : *A. gr. amphibius* et *A. sapidus* (Heinrich 1990 ; Koenigswald & Heinrich 1999).

Au vu de l'état de préservation des molaires (angles saillants des triangles souvent érodés ou cassés), du faible nombre de dents en bon état, et des difficultés méthodologiques soulevées par Escudé et al. (2008), nous avons renoncé à calculer le SDQ (Schmelzband-Differenzierung-Quotient). Le recours à cette méthode sur d'importantes séries de molaires, issues d'un gisement archéologique ou paléontologique, permet de proposer une datation du gisement ou des différents gisements.

## 2.5 Discussion et synthèse

Bien que le matériel soit très fragmenté, nous avons été en mesure d'identifier plusieurs espèces qui apportent de nouvelles données, non seulement sur l'environnement en Ajoie durant les MIS 3 et 5, mais également en termes de biogéographie et de paléontologie. L'obtention de tels résultats s'explique en grande partie par le soin apporté au tamisage puis au tri des sédiments contenant des vestiges de faune. Il est remarquable de souligner notamment la découverte de 101 dents de *Sicista betulina* dans les dolines de VTA-V1 et SYL. Ce rongeur, dont par exemple la longueur de la P4 est inférieure à 0,7 mm, est extrêmement rare dans les thanatocénoses des gisements européens. Cette pauvreté de données ne semble pas due à la rareté de l'espèce, mais plutôt aux techniques de fouilles. Un inventaire des sites du Pléistocène supérieur et de l'Holocène ayant livré des restes de ce taxon en Europe montre en effet que la siciste des bouleaux avait une aire couvrant une grande partie de ce territoire (Kalthoff et al. 2007 ; Oppliger & Becker 2010 ; Rofes et al. 2012). En Suisse, cette espèce est signalée dans le remplissage magdalénien du site d'Ettingen dans le canton de Bâle-Campagne (Stehlin 1922, 1924) et depuis peu dans un niveau daté entre 30 et 60 ka BP dans la grotte du Boulevard de la Liberté (Oppliger, inédit).

Les données morphométriques obtenues sur cette série significative de dents ont permis d'apporter des éléments complémentaires pour l'identification de cette espèce, mais aussi pour la distinction d'avec *Sicista subtilis*. La détermination spécifique de ces taxons revêt toute son importance dans les études paléoenvironnementales, car ils fréquentent des biotopes différents (Oppliger & Becker 2010). Malgré la découverte d'animaux emblématiques du Pléistocène, comme le mammoth, dans plusieurs dolines sur le tracé de la Transjurane, il se pourrait bien que ce soit un autre mammifère, nettement plus petit, dont les dimensions corporelles (sans la queue) sont inférieures à 8 cm, qui tende à donner davantage de notoriété à ces sites. En effet, les molaires et les prémolaires découvertes principalement dans la doline VTA-V1

font de ce site une référence mondiale pour *Sicista betulina*. Dès lors qui aurait pu imaginer qu'une si petite bestiole puisse voler la vedette à un si gros animal ?

Des onze dolines étudiées, seules quatre ont livré suffisamment de matériel pour une analyse paléoenvironnementale. Les espèces identifiées indiquent un environnement en mosaïque, c'est-à-dire composé de prairies herbeuses parsemées de rocaillies et entrecoupées de buissons, arbustes et d'arbres formant probablement une forêt clairsemée. Le sol humide, ainsi que des températures plus clémentes mais encore froides (environ 5°C), semblent avoir joué un rôle bénéfique pour le développement de cette végétation durant cet interstade. Ce paysage reconstitué trouve une similitude avec la taïga ou la steppe arborée. La présence d'espèces particulières comme *Apodemus flavicollis* ou encore d'un taxon appartenant au genre *Myodes* dans le remplissage de la doline BBO indiquent un paysage quelque peu différent. Les conditions climatiques étaient plus tempérées (température moyenne annuelle de 8°C environ). Le milieu autour du site devait être davantage fermé, avec toutefois encore la présence de zones de prairie. Malheureusement, et malgré un travail minutieux, principalement lors du tri des refus de tamis, nous ne disposons que de peu de renseignements en vue de reconstituer l'environnement à proximité de la doline LGC, dont les vestiges sont les plus anciens du lot étudié. Ces données lacunaires suggèrent toutefois un environnement ouvert, humide et relativement frais.

Les résultats obtenus principalement à partir de l'étude du cortège faunique de la doline VTA-V1 sont concordants avec ceux fournis par l'étude des pollens (Drescher-Schneider et al. 2007 ; Furrer et al. 2007) et des coléoptères (Coope 2007) du gisement de Niederweningen (ZH), contemporain des sites étudiés ici, à l'exception de celui de BBO. Actuellement en Suisse, nous ne disposons pas d'autres sites contemporains dont la position chronologique des vestiges ne fait pas de doute. Bien que fouillés de manière relativement fine pour l'époque, l'ancienneté des fouilles de la grotte de Cotencher (Dubois & Stehlin 1933) ou encore de la grotte de Saint-Brais (Koby 1938) ne permet pas de disposer de ces vestiges de micromammifères pour une éventuelle comparaison. La confrontation de nos résultats avec ceux de Jeannet (2010b) sur la microfaune de l'aven de Romain-la-Roche (Doubs, F) montre passablement de dissimilitudes, confortant ainsi l'attribution chronologique durant le MIS 3 des dolines d'Ajoie. En effet, les microvertébrés de l'aven de Romain-la-Roche indiquent des conditions climatiques plus froides et un paysage clairement ouvert. De plus, la présence d'espèces particulières comme *Apodemus uralensis* ou encore *Microtus malei* souligne encore cette différence. Jeannet (2010b) mentionne la présence de *Sicista subtilis* ; or il semblerait, à notre avis, qu'il s'agisse plutôt de *Sicista betulina*. Cette donnée, qu'il conviendrait de préciser, indique que ce taxon était déjà présent dans le massif jurassien au cours du MIS 5 et qu'il aurait très bien pu être trouvé dans la doline LGC.

Le cortège de rongeurs des niveaux supérieurs dans la Baume de Gigny (Jura, F) (Chaline & Brochet 1989 ; Chaline et al. 1995)

trouve des similitudes avec celui de BBO, notamment en ce qui concerne la présence du genre *Apodemus* et *Myodes*. Sur la base de cette comparaison, nous serions donc tenté de placer ce gisement au début du MIS 3, soit vers 30 000 BP.

Concernant l'approche taphonomique, en vue d'identifier les différents processus ayant conduit au dépôt des vestiges osseux et dentaires des micromammifères, il est vraisemblable que des processus d'altération et de dissolution post-dépositionnelle aient passablement biaisé nos échantillons, rendant ainsi difficile toute interprétation du mode de dépôt primaire. D'après Becker et al. (2009), la plupart des restes de microfaune découverts dans la doline VTA-V1 ont été trouvés très localisés et en forte abondance, ce qui suggérerait, comme pour la grande faune, un processus de transport. L'importante fragmentation des éléments crâniens et post-crâniens, ainsi que la valeur relativement élevée du pourcentage de représentation des molaires iraient dans le sens de cette hypothèse d'après Andrews (1990).

À notre avis, deux hypothèses pourraient expliquer la présence de ces restes de microvertébrés dans les diverses dolines. La première suppose l'existence d'une coprocénose, peut-être de rapaces (diurnes ?), aux alentours de la doline et/ou à l'intérieur de celle-ci. La concentration de vestiges pourrait s'expliquer par la présence d'un nichoir, ou alors d'un transport des pelotes par l'eau à l'intérieur de la doline. D'ailleurs, d'après Korth (1979), leur transport par l'eau peut se faire sur 200 mètres avant qu'elles ne se désintègrent totalement.

Toutefois, le peu de données relatives aux analyses taphonomiques ne nous a pas permis de préciser l'agent accumulateur. La seconde hypothèse suggère le fonctionnement de la doline comme aven piège, ce qui serait également compatible avec la présence d'une grande faune relativement abondante. Une combinaison des deux possibilités est aussi envisageable. Enfin, il est tout à fait possible que les découvertes sporadiques de quelques restes, comme notamment dans la doline VTA-V5, correspondent à un individu mort dans son terrier. Ceci expliquerait également la présence d'un individu presque complet dans le niveau loessique de la doline BBO. Quoiqu'il en soit, les différentes espèces identifiées dans les dolines de VTA-V1 et BBO présentent suffisamment de diversité pour réaliser une étude paléoenvironnementale fiable.

Pour conclure, nous ne pouvons qu'insister sur l'importance de cette découverte qui, pour la première fois en Suisse, a permis de réaliser une étude paléoenvironnementale à partir de restes dentaires et osseux de micromammifères pour cette période chronologique peu connue qu'est le Pléniglaciaire moyen. De plus, la découverte de nombreuses dents de *Sicista betulina* a fortement contribué à enrichir non seulement nos connaissances sur ce taxon, mais surtout à proposer des critères complémentaires de détermination. Sans un examen aussi minutieux des sédiments, il est évident qu'une telle étude n'aurait jamais pu voir le jour. Seule la généralisation d'un tamisage et d'un tri fin pourront permettre à l'avenir de compléter cette documentation encore très lacunaire à l'échelle nationale.

## Bibliographie

- Abbassi M., Desclaux, E., Marquet, J.-C. & Chaline, J. 1998: Répartition et évolution des *Arvicola* Lacépède, 1799 (Rodentia, Mammalia) au cours du Pléistocène moyen et supérieur en France et en Ligurie. *Quaternaire* 9.2, 105-116.
- Amori G., Hutterer R., Krystufek B., Yigit N., Mitsain G. & Muñoz L.J.P. 2008: *Arvicola scherman*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). Downloaded on 16 July 2014.
- Andrews P. 1990: *Owls, caves and fossils: predation, preservation and accumulation of small mammal bones in caves, with analysis of the Pleistocene cave faunas from Westbury- sub- Mendip, Somerset, UK*. Natural history museum publication, British Museum, London, 231 p.
- Aulagnier S., Haffner P., Mitchell-Jones A.J., Moutou F. & Zima J. 2008: *Guide des mammifères d'Europe, d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient*. Delachaux et Niestlé, Paris, 271 p.
- Becker D., Aubry D. & Detrey J. 2009: Les dolines du Pléistocène supérieur de la combe de « Vâ Tche Tchâ » (Ajoie, Suisse): un piège à restes de mammifères et artefacts lithiques. *Quaternaire* 20.2, 135-148.
- Bessire G. 1977: *Les rongeurs postglaciaires du Creux-de-l'Ourse (Asuel, Suisse) et leur signification écologique*. Travail de licence, Université de Neuchâtel, 172 p.
- Cabrera-Millet M., Lopez-Martinez N. & Michaux J. 1982: Un exemple de lignée endémique iberoccitane, les campagnols *Microtus brecciensis* et *Microtus cabreræ* (Mammalia, Rodentia): étude phylogénétique et contexte écologique d'un phénomène évolutif récent. In: Buffetaut E., Mazin J.-M. & Salmon E. (eds.): *Actes du Symposium paléontologique G. Cuvier*, Montbéliard, France, 69-83.
- Chaline J., Baudvin H., Jammot D., Saint-Girons M.-C. 1974: *Les proies des rapaces. Petits mammifères et leur environnement*. Doin, Paris, 141 p.
- Chaline J. & Brochet G. 1989: Les rongeurs: leurs significations paléocéologiques et paléoclimatiques. In: Campy M., Chaline J. & Vuilleumey M. (eds.): *La Baume de Gigny (Jura)*. XXVII<sup>e</sup> supplément de Gallia Préhistoire, CNRS, Paris, 97-109.
- Chaline J., Brunet-Lecomte P. & Campy M. 1995: The last glacial/interglacial record of rodent remains from the Gigny karst sequence in the French Jura used for palaeoclimatic and palaeoecological reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 117, 229-252.
- Chaplin R.E. 1974: *The study of animal bones from archaeological sites*. International series of monographs on science in archaeology, Seminar Press, London and New York, 170 p.
- Denys C. 1985: Nouveaux critères de reconnaissance des concentrations de microvertébrés d'après l'étude des pelotes de chouettes du Bostwana (Afrique australe). *Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle* 4<sup>e</sup> série, section A 7, 879-933.
- Denys C., Dauphin Y. & Fernandez-Jalvo Y. 1997: Apports biostratigraphiques et paléocéologiques de l'étude taphonomique des assemblages de micromammifères. Bilan et perspectives. *Geobios* 20, 197-206.
- Drescher-Schneider R., Jacquat C. & Schoch W. 2007: Palaeobotanical investigations at the mammoth site of Niederweningen (Kanton Zürich), Switzerland. *Quaternary international* 164-165, 113-129.
- Dubois A. & Stehlin H.G. 1933: La grotte de Cotencher, station moustérienne. *Mémoires de la Société paléontologique suisse* LI-LIII, 292 p.
- Escude E., Montuire S., Desclaux E., Quere J.-P., Renvoise E. & Jeannet M. 2008: Reappraisal of « chronospecies » and the use of *Arvicola* (Rodentia, Mammalia) for biochronology. *Journal of Archaeological Science* 35, 1867-1879.
- Furrer H., Graf H.R. & Mäder A. 2007: The mammoth site of Niederweningen, Switzerland. *Quaternary international* 164-165, 85-97.
- Gautier A. 1984: How do I count you, let me count the ways? Problems of archaeozoological quantification. In: Grigson C. & Clutton-Brock J. (eds.): *Animals and archaeology: 4. Husbandry in Europe*. BAR International Series 277, Oxford, 237-251.
- Grayson D.K. 1984: *Quantitative zooarchaeology. Topics in the analysis of archaeological faunas*. Academic Press, Orlando, 202 p.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1), 9 p. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_2001/past/issue2001\\_2001.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_2001/past/issue2001_2001.htm).
- Hausser J. (ed). 1995: *Mammifères de la Suisse: répartition, biologie, écologie*. Birkhäuser, Bâle, 501 p.
- Heinrich W.-D. (1990): Some aspects of evolution and biostratigraphy of *arvicola* (Mammalia, Rodentia) in the central european pleistocene. In: Fejfar J. & Heinrich W.-D. (eds.): *International symposium evolution, phylogeny and biostratigraphy of arvicolid (Rodentia, Mammalia)*, Rohanov (Czechoslovakia), May 1987. Pfeil-Verlag, Praha, 165-182.
- Jammot D. 1971: *Les insectivores actuels et fossiles du Quaternaire de Bourgogne*. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Dijon, 84 p.
- Jeannet M. 2010a: L'écologie quantifiée. Essai de description de l'environnement continental à l'aide des microvertébrés. *Préhistoires méditerranéennes* 1 1-26.

- Jeannet M. 2010b: Aven de Romain-la-Roche (Doubs, France). Paléocéologie et biostratigraphie selon les microvertébrés. *Revue de Paléobiologie* 29.2, 477-493.
- Kalthoff D.C., Mörs T. & Tesakov A. 2007: Late Pleistocene small mammals from the Wannenköpfe volcanoes (Neuwied Basin, western Germany) with remarks on the stratigraphic range of *Arvicola terrestris*. *Geobios* 40, 609-623.
- Kawamura Y. 1988: Quaternary rodent faunas in Japanese Islands. *Memoirs of the Faculty of science*, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy LIII.1-2, 31-348.
- Koby F.-É. 1938: Une nouvelle station préhistorique (paléolithique, néolithique, âge du bronze): les cavernes de Saint-Brais (Jura bernois). *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel* 49, 138-196.
- Koenigswald V. & Heinrich, W.-D. (1999): Mittelpleistozäne Säugetierfaunen aus Mitteleuropa – Der Versuch einer biostratigraphischen Zuordnung, Kaupia. *Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* 9, 53-112.
- Korth W.W. 1979: Taphonomy of microvertebrates fossil assemblages. *Annals of Carnegie museum* 48, 235-285.
- Kowalski K. 1990: Some problems of the taphonomy of small mammals. In: Feijfar O. & Heinrich W.-D. (eds.): *International symposium evolution, phylogeny and biostratigraphy of arvicolid (Rodentia, Mammalia)*, Rohanov (Czechoslovakia), May 1987. Pfeil-Verlag, Praha, 285-296.
- Le Louarn H. & Quere J.-P. 2003: *Les rongeurs de France. Faunistique et biologie*. Institut national de la recherche agronomique (INRA), Paris, 256 p.
- Michaux J. 1971: *Muridae (Rodentia) néogènes d'Europe sud-occidentale. Évolution et rapports avec les formes actuelles*. Paléobiologie continentale 2.1, 67 p.
- Michelat D., Roue S.Y. & Pepin D. 2005: *Les mammifères de la montagne jurassienne*. Néo-Typo, Besançon, 183 p.
- Mitchell-Jones A.J., Amori G., Bogdanowicz W., Krystufek B., Reijnders P.J.H., Spitzenberger F., Stubbe M., Thissen J.B.M., Vohralik V. & Zima J. 1999: *The atlas of European mammals*. Academic Press, London, 484 p.
- Oppliger J. 2008: *Les micromammifères (Chiroptera, Insectivora et Rodentia) comme indicateurs de l'environnement au Tardiglaciaire et à l'Holocène: le cas du Moulin du Roc (Saint-Chamassy, Dordogne, France)*. Travail de diplôme, Section de biologie, Faculté des sciences, Université de Genève, 130 p.
- Oppliger J. & Becker D. 2010: Morphometrical analyses of Northern Birch Mice (*Sicista betulina* Pallas, 1779; Mammalia; Rodentia) discovered in a rich locality from the Late Pleistocene of northwestern Switzerland. *Comptes Rendus Palevol* 9, 113-120.
- Paunesco A. & Brunet-Lecomte P. 2013: Différenciation odontométrique entre *Arvicola amphibius* (Linnaeus, 1758) et *Arvicola sapidus* Miller, 1908 (Rodentia, Arvicolinae). *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois* 114, 77-87.
- Popov V.V. 2004: Late Pliocene Erinaceidae and Talpidae (Mammalia: Insectivora) from Varshets (North Bulgaria). *Acta zoologica cracoviensia* 47.1-2, 61-80.
- Pucek Z. 1982: *Sicista betulina* (Pallas, 1778) - Waldbirkenmaus. In: Niethammer J. & Krapp F. (Eds.) *Handbuch der Säugetiere Europas*. Band 2/1. Rodentia II: (Cricetidae, Arvicolidae, Zapodidae, Spalacidae, Hystricidae, Capromyidae). Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, 516-538.
- Rofes J., García-Ibaibarriaga N., Murelaga X., Arrizabalaga Á., Iriart M.-J., Cuenca-Bescós G. & Villaluenga A. 2012: The southwesternmost record of *Sicista* (Mammalia; Dipodidae) in Eurasia, with a review of the palaeogeography and palaeoecology of the genus in Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 348-349, 67-73.
- Sanchez V., Denys C. & Fernandez-Jalvo Y. 1997: Origine et formation des accumulations de microvertébrés de la couche 1a du site du Monte di Tuda (Corse, Holocène). Contribution à l'étude taphonomique des micromammifères. *Geodiversitas* 19.1, 129-157.
- Stehlin H.G. 1922: *Sicista spec.* im schweizerischen Pleistocän. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 16.5, p. 589.
- Stehlin H.G. 1924: Wirbeltierreste. In: Sarasin F., Stehlin H.G. (eds.): *Die Magdalénienstation bei Ettingen (Baselland)*. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 61, 10-20.
- van der Meulen A.J. 1973: Middle Pleistocene smaller mammals from the Monte Peglia (Orvieto, Italy) with special reference to the phylogeny to *Microtus* (Arvicolidae, Rodentia). *Quaternaria* 17, 1-144.
- Wilson D.E. & Reeder D.M. (eds). 2005: *Mammal Species of the World* (3rd edition). Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2142 p.
- Wust-Saucy A.-G. 1998: *Polymorphisme génétique et phylogéographique du campagnol terrestre Arvicola terrestris*. Thèse de doctorat, Université de Lausanne, 162 p.



## Annexe 2 – Systématique

Systématique des espèces de micromammifères identifiées dans les différentes dolines. La nomenclature taxonomique prise en compte se réfère à Wilson & Reeder 2005.

Ordre **RODENTIA** Bowdich, 1821

Famille **CRICETIDAE** Fischer, 1817

Sous-famille **Arvicolinae** Gray, 1821

Genre ***Arvicola*** Lacépède, 1799

*Arvicola* groupe *amphibius* – Campagnol terrestre (L., 1758)

*Chionomys* Miller, 1908

*Chionomys nivalis* – Campagnol des neiges Martins, 1842

*Microtus* Schrank, 1798

*Microtus (Microtus) arvalis* – Campagnol des champs Pallas, 1778

*Microtus (Microtus) agrestis* – Campagnol agreste L., 1761

*Microtus oeconomus* – Campagnol nordique Pallas, 1776

*Myodes* Pallas, 1811

Famille **DIPODIDAE** Fischer de Waldheim, 1817

Sous-famille **Sicistinae** Allen, 1901

Genre ***Sicista*** Gray, 1827

*Sicista betulina* – Siciste des bouleaux Pallas, 1779

Famille **MURIDAE** Illiger, 1811

Sous-famille **Murinae** Illiger, 1811

Genre ***Apodemus*** Kaup, 1829

*Apodemus flavicollis* – Mulot à collier Melchior, 1834

Ordre **SORICOMORPHA** Gregory, 1910

Famille **TALPIDAE** Gray, 1825

Sous-famille **Talpinae** Murray, 1866

Genre ***Talpa*** L., 1758

*Talpa europaea* – Taupe d'Europe L., 1758

Famille **SORICIDAE** Gray, 1821

Sous-famille **Soricinae** Fischer de Waldheim, 1817

Genre ***Sorex*** Linnaeus, 1758

*Sorex* groupe *araneus* – Groupe des musaraignes carrelet



### Annexe 3 – Données biométriques

Mesure des molaires de plusieurs espèces d'Arvicolinae, de *Sicista betulina*, de *Apodemus flavicollis* et *Talpa europaea*, ainsi que des principaux os longs de *Talpa europaea*.

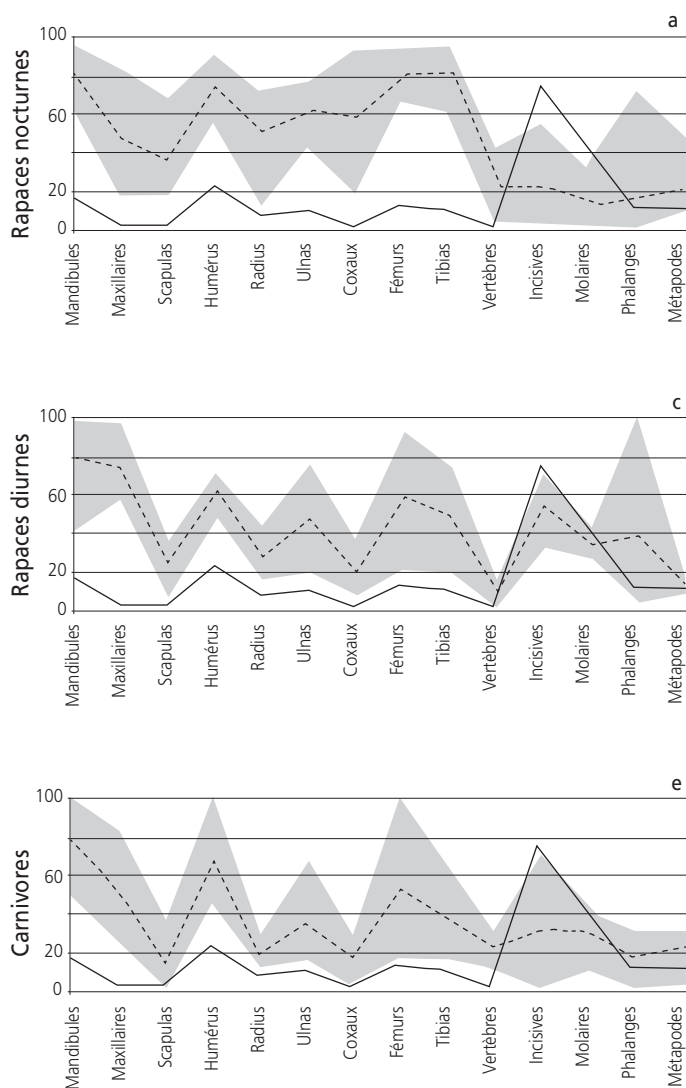
Taxon	Élément	Mesure	n	min.	max.	moy.	Site
<i>Arvicola gr. amphibius</i>	m1	L	18	3,42	4,23	3,80	VTA - V1
	m1	W	11	1,36	1,77	1,56	VTA - V1
<i>Chionomys nivalis</i>	m1	L	1			2,17	VTA - V1
<i>Microtus arvalis</i>	m1	L	19	2,40	2,88	2,65	VTA - V1
	m1	W	23	0,84	1,12	0,99	VTA - V1
	m1	L	1			2,70	LGC
	m1	W	1			1,10	LGC
<i>Microtus agrestis</i>	m1	L	3	2,28	2,88	2,65	VTA - V1
	m1	W	3	0,80	0,96	0,88	VTA - V1
<i>Microtus oeconomus</i>	m1	L	2	2,52	2,84	2,68	VTA - V1
	m1	W	1			1,00	VTA - V1
	m1	L	1			2,70	SYL
	m1	W	1			1,10	SYL
<i>Sicista betulina</i>	m1	L	17	1,05	1,18	1,11	VTA - V1
	m1	W	17	0,73	0,83	0,78	VTA - V1
	m2	L	15	1,08	1,15	1,11	VTA - V1
	m2	W	15	0,75	0,85	0,80	VTA - V1
	m3	L	9	0,73	0,80	0,77	VTA - V1
	m3	W	9	0,63	0,70	0,66	VTA - V1
	P4	L	12	0,48	0,60	0,53	VTA - V1
	P4	W	12	0,53	0,68	0,59	VTA - V1
	M1	L	24	0,95	1,08	1,01	VTA - V1
	M1	W	24	0,88	1,05	0,97	VTA - V1
	M2	L	15	0,95	1,05	1,03	VTA - V1
	M2	W	15	0,88	0,93	0,91	VTA - V1
	M3	L	8	0,58	0,65	0,61	VTA - V1
	M3	W	8	0,68	0,73	0,69	VTA - V1
<i>Apodemus flavicollis</i>	m1	L	1			2,00	BBO
	m1	W	1			1,10	BBO
<i>Talpa europaea</i>	RAD	1	1			12,10	VTA - V1
	RAD	2	2	3,80	5,00	4,40	VTA - V1
	RAD	3	3	3,90	4,50	4,13	VTA - V1
	RAD	4	1			1,80	VTA - V1
	RAD	5	1			10,10	VTA - V1
	HUM	5	3	4,00	4,70	4,33	VTA - V1
	HUM	6	3	8,80	9,40	9,07	VTA - V1
	HUM	8	1			12,40	VTA - V1
	ULN	3	1			4,40	VTA - V1
	ULN	5	1			2,10	VTA - V1
	TIB	2	1			4,10	VTA - V1
	TIB	3	1			3,60	VTA - V1
	FEM	1	1			18,00	VTA - V1
	FEM	2	1			5,10	VTA - V1
	FEM	3	1			4,80	VTA - V1
	m2	L	1			2,60	VTA - V1
	m2	W	1			1,40	VTA - V1

## Annexe 4 – Taphonomie

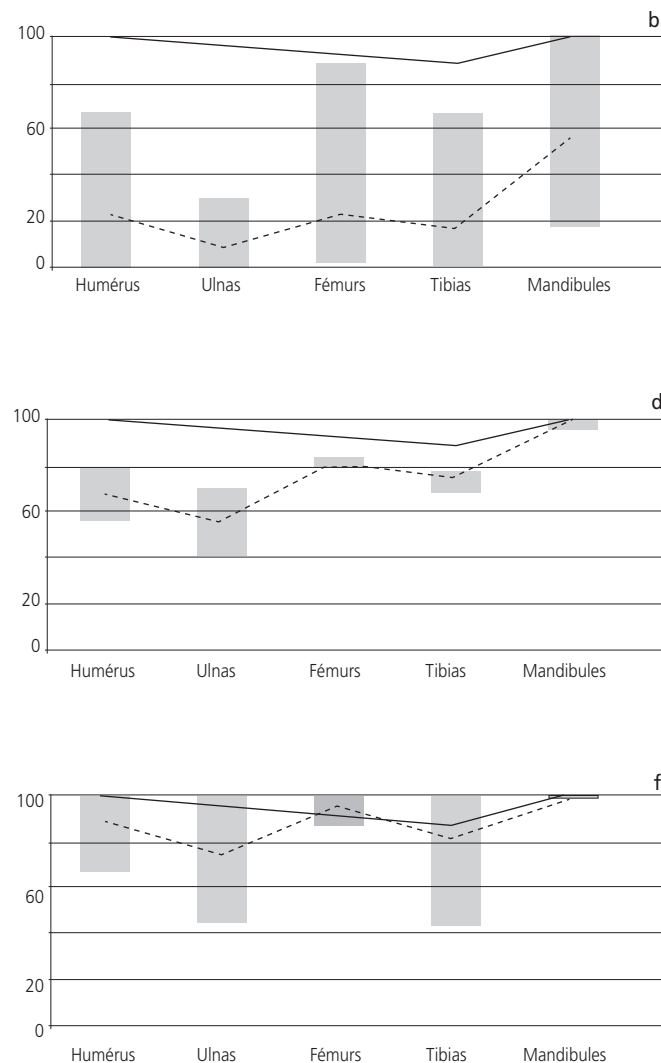
Pourcentage de représentation et de fragmentation des principaux éléments squelettiques contenus dans (a-b) des pelotes de réjection de rapaces nocturnes (*Tyto alba*, *Asio otus*, *Asio flammeus*, *Bubo bubo*, *Strix aluco*, *Athene noctua* et *Nyctea scandiaca*), (c-d) de pelotes de réjection de rapaces diurnes (*Falco* sp., *Circus cyaneus*, *Falco* cf. *tinnunculus*) et (e-f) de déjection de carnivores (*Genetta genetta*, *Vulpes vulpes*, *Alopex lagopus*, *Martes martes*).

Graphiques extraits de Oppliger 2008 et réalisés sur la base des valeurs du référentiel d'Andrews 1990. Pour les différents taxons, nous présenterons les extrêmes de la variabilité connue en utilisant, en complément à la moyenne (traitillé), le minima et le maxima (aire en gris). Le trait noir continu correspond aux données de VTA-V1.

### Représentation

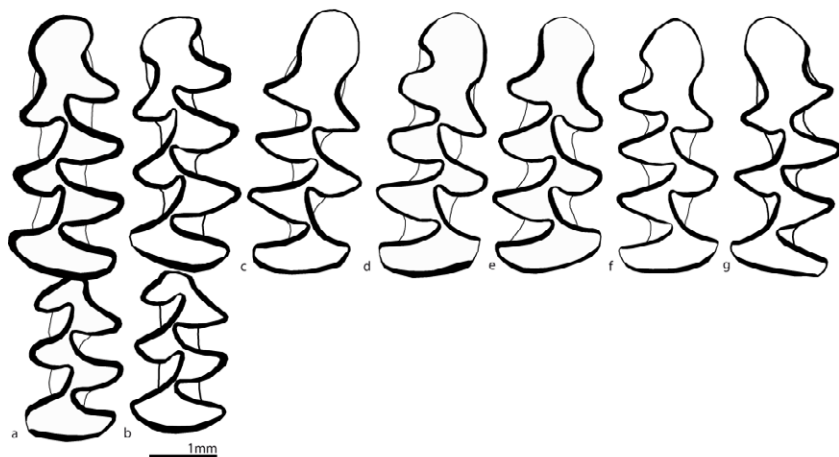


### Fragmentation



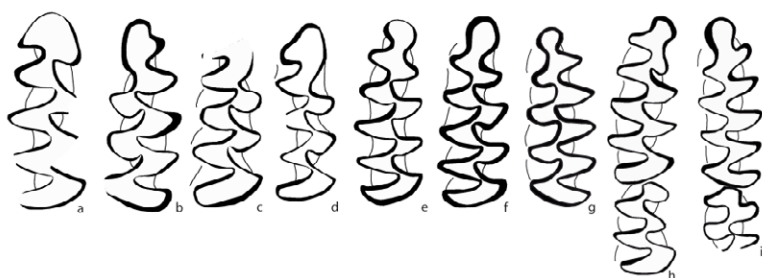
## Annexe 5 – Illustrations

(1)

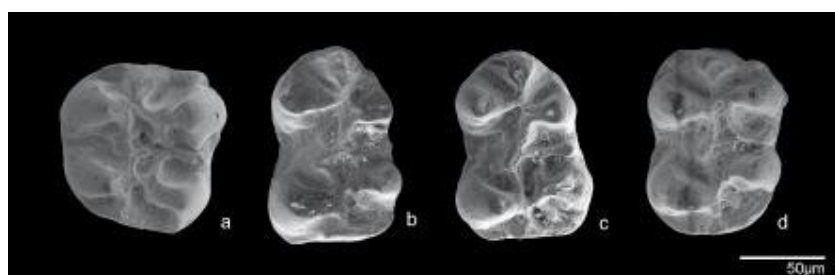


*Arvicola gr. amphibius* de la doline VTA-V1.  
 a-b) m1 et m2 gauche (n° 355 et n° 708a)  
 c-e) m1 droites (n° 710)  
 f) m1 droite (n° 687)  
 g) m1 gauche (n° 708b).

(2)



VTA-V1.  
 a) *Chionomys nivalis* m1 droite (n° 710)  
 b-d) *Microtus oeconomus* m1 gauche (b - n° 687), m1 droites (c-d - n° 687)  
 e) *Microtus agrestis* m1 droite (n° 687)  
 f-i) *Microtus arvalis* m1 droite (f - n° 710), m1 gauche (g - n° 710), m1 et m2 droites (h - n° 361) et m1 et m2 gauches (i - n° 361).



Molaires de *Sicista betulina* de la doline VTA-V1 obtenues au microscope électronique à balayage (MEB) du Département de Géosciences de l'Université de Fribourg (d'après Oppliger & Becker 2010).

- a) M1 gauche (n° 692)  
 b-c) m1 gauche (n° 692)  
 d) m2 gauche

# 3

## Megafaunal remains

Werner Müller



### 3.1 Introduction

The faunal material recovered from the dolines has been the object of several studies of various depths and of various methodological approaches. Four theses (BSc, MSc, PhD) at the University of Fribourg treated the remains of different animal groups (bovids, equids, rhinos, mammoths) from a palaeontological perspective, which were supplemented by ecological and climatological investigations (Becker et al. 2009; Rothen et al. 2012; Savoy et al. 2013; Scherler et al. 2014; Becker et al. 2015). Overall, the material seems to be well studied from a palaeontological point of view. For the forthcoming synthesis it was desirable to have the remains studied as an entity and specifically to have taphonomical and archaeozoological aspects taken into account. This was all the more needed since flint artifacts had been identified and therefore the presence of Neanderthal people was attested. The possible impact of humans and their contribution to the accumulation of these remains needed to be elucidated. Great care was taken to observe the surface of every single bone under the stereomicroscope to detect any possibly marks of human interaction. The new traces that stem from excavation or curation activities had to be discerned from old human flint impact traces. It was obvious from the beginning that the number of traces would be small, given that the doline fillings were representing a cross section of remains that were part of the palaeo-landscape.

### 3.2 Boncourt-Grandes Combes

Three dolines have been excavated in this location that have yielded bone remains. One doline (Doline 2) had only one bone fragment that got regrettably lost. Another doline (Doline 1, also called 619/620), contained altogether 90 osseous remains (fig. 25). According to the stratigraphic and sedimentary indices these bones should all be attributed to the MIS 5d-5a. The bulk of it comes from bison, and in all likelihood representing one individual. These account to 40 separate remains when the 22 teeth are counted each separately. The skull seems to have been preserved almost completely, but broke into several larger pieces during excavation. Therefore, the braincase with the horn cores is preserved, and the upper tooth rows are almost complete within their maxillary bone. In addition, all lower jugular teeth are present and are still embedded in the mandibular bone, although the lower part of the ramus, which contains the mandibular nerve and lots of fat, was chewed off by large carnivores, as tooth marks attest (fig. 26). Apart from the skull, five cervical and two thoracic vertebra might have been still in connection and seem to have been embedded this way. From the appendices, the front legs are represented each by a humerus and radius/ulna, as well as one cannon bone (metacarpus). From the hind leg, the tibia is represented from both sides, along with a tarsal bone and one cannon bone (metatarsus). From the state of the abrasion of the teeth as well as the fusion of all epiphyses it is evident that this was an adult individual, yet not old, i.e. in its prime age of something between 5-8 years. The size of the bones and especially the horn cores indicate further that this was a male individual.

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>Megaloceros giganteus</i>	<i>Rangifer tarandus</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Mammuth to Red deer</i>	<i>Ungulata large</i>	indet.	total
Os cornua					3					3
Cranium			1							1
D. max. praemol.			1							1
D. max. praemol. 2			1							1
D. max. praemol. 4		1	1							2
D. max. mol. 1		1	2							3
D. max. mol. 2		2	2							4
D. max. mol. 3		1	2							3
Mandibula			1		1					2
D. mand. praemol. 1			1							1
D. mand. praemol. 2			1							1
D. mand. praemol. 3			2							2
D. mand. praemol. 4			2							2
D. mand. mol. 1			2							2
D. mand. mol. 2			2							2
D. mand. mol. 3			2							2
D. "jugales" sup-inf		2								2
Vertebrae cervicales			5							5
Vertebrae thoracicae			2							2
Vertebrae indet.								1		1
Scapula						1				1
Humerus			2							2
Radius-Ulna			2							2
Metacarpalia princip.			1							1
Os coxae	1			3						4
Tibia			3							3
Os centroquartale			1							1
Metatarsalia princip.			1							1
Os plat.							1			1
indet.							5		27	32
total	1	7	40	3	4	1	6	1	27	90

Fig. 25. Boncourt-Grandes Combes, Doline 1. Number of determined remains.

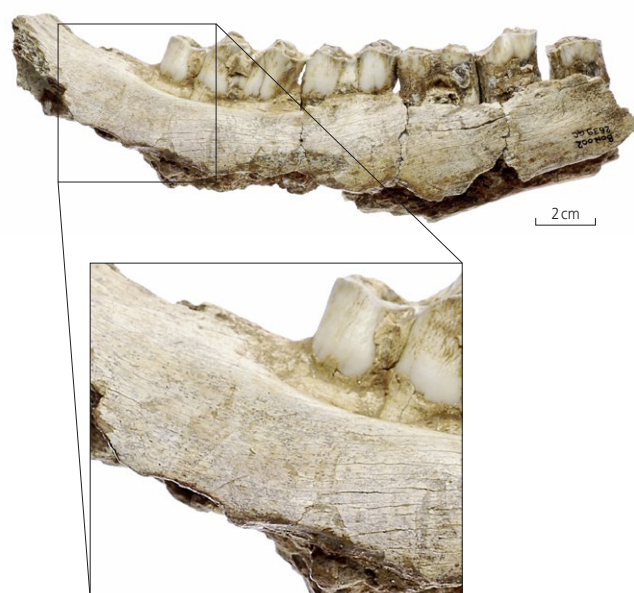


Fig. 26. Boncourt-Grandes Combes, Doline 1. Left mandible of *Bison priscus* with gnaw marks by large carnivores.



The rhino is represented by 8 teeth, of which five could be determined precisely. According to their abrasion stages, all teeth could stem from the same individual. According to the wear traces it can be said that it was a young adult animal. No other skeletal elements from the rhino were retrieved.

The mammoth is represented by only one fragment of the pelvic bone. Likewise is the horse represented by only one bone, an almost complete scapula. From the giant deer the two halves of a pelvis, from the same individual, is present (in 3 fragments). The two ilia and some other regions bear gnaw marks of a larger carnivore. It is thus conceivable that it was just this skeletal element that was dragged into this doline by a carnivore. The reindeer is attested by three fragments of antler, as well as one mandibular fragment.

The doline 3 was apparently filled for the most part during MIS 3 and contained altogether 33 fragments (fig. 27). The mammoth is the best represented species with 10 fragments of which one is a tusk and an attached cranial bone. Two jugular teeth are worn too much so they represent only a part of the original tooth, being too small to be determined further, also not allowing an age estimation. The remaining fragments come from the hind quarters, with two fragments of the pelvic bone as well as two from the femur and one each from the tibia and fibula.

The horse is represented by 5 teeth and a mandibular fragment. The jugular teeth are rather worn and are from an older animal whereas the incisors should be from a younger animal, thus showing the presence of at least two individuals. The rhino is represented by a small fragment of one tooth that has not been in abrasion yet and is not determinable any further. The reindeer is represented by a cannon bone of the front leg (metacarpus).

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Rangifer tarandus</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Mammuth to Red deer</i>	<i>Ungulata grands</i>	indet.	total
Cranium	1							1
D. max. inc.	1			1				2
D. max. inc. 3				1				1
D. max. mol.				1				1
D. max. praemol.-mol.				1				1
Mandibula				1				1
D. mand. mol. 3				1				1
D. "jugales" indet. sup-inf	2	1						3
Metacarpalia princip.			1					1
Os coxae	1							1
Femur	2							2
Tibia	1							1
Fibula	1							1
Metapodium princip.						1		1
indet.	1				2		12	15
total	10	1	1	6	2	1	12	33

Fig. 27. Boncourt-Grandes Combes, Doline 3. Number of determined remains.

### 3.3 Courtedoux - Vâ Tche Tchâ

#### Doline V1

This doline contained altogether 57 fragments or fragment groups from larger animals that could be attributed to the stratigraphic units dated to the MIS 3 (fig. 28). Further nine elements were retrieved from layers of the holocene and will not be treated here. The reddish-brown silty layers, indicating the MIS 5d-5a, seems to have been absent in this doline. The mammoth is the dominant species with 16 fragments, of which 5 are larger fragments of tusks to which belong undoubtedly 9 assemblages of numerous small fragments of a tusk. One second lower molar ( $M_2$ ) of a mammoth was determined to stem from an animal of 25 to 30 years of age (FAD stage 6 according to Anders & v. Koenigswald 2013). The horse is present with eleven fragment groups. Beside one right metacarpal bone, several tarsal and metatarsal bones of the left side of the body might all belong to the same individual. At least between the Os tarsalia IV and the Calcaneus could a morphological fit be established. From the bison/aurochs are 5 elements present, of which 2 upper molar teeth could, according to their morphology and wear stage, be neighbouring teeth and therefore be first and second molar of the same individual. The large cannon bone (metatarsal bone) shows fine linear traces perpendicular to the long axis of the bone (fig. 29) that stem presumably from flint,

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Mammuth/Rhino</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Ungulata large</i>	<i>Ursus spelaeus</i>	<i>Vulpes/Alopex</i>	<i>Carnivora</i>	<i>Talpa europaea</i>	indet.	total
D. max. inc.	14										14
D. max. can.						1					1
Mandibula			1				1				2
D. mand. mol. 2	1										1
Alveoles (mand. or max.)					1						1
Vertebrae cervicales					1						1
Costae								1			1
Scapula			1				1				2
Humerus			1				1		1		3
Radius							1				1
Metacarpalia princip.				1							1
Os coxae							3	1			4
Tibia							2	1			3
Calcaneus				1							1
Os tarsale I et II				1							1
Os tarsale III				1							1
Os tarsale IV				1							1
Os metatarsale III							1				1
Os metatarsale IV				1							1
Metatarsalia princip.			1								1
Metapodium vestig.				1							1
Phalanx prox.				3							3
Ossa sesamoidea proximalia				1							1
Os long	1	1			2						4
indet.		1								5	6
total	16	2	4	11	4	1	10	3	1	5	57

Fig. 28. Courtedoux - Vâ Tche Tchâ, Doline V1. Number of determined remains.



Fig. 29. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V1. *Bison pricus*, metatarsus, with probable cut marks.

although it cannot be completely ruled out that the traces might be due to stones being rubbed against the bone. This pattern is known for trampling, but the form and depth of the traces as well as the small number of the cut marks in combination with no other impressions make it more likely that they are related to human stone tool use. This bone does not carry any meat and it has to be envisioned that the traces were produced inadvertently during skin removal or when the strong tendons were extracted. Skin and tendon removal do not necessarily need to mean that these raw

materials were sought for but rather as a preparatory step in bone marrow removal. Another bison bone, a fragment of a scapula bears incisions that have to be interpreted as human made cut marks (fig. 30). Here, several curved incisions point strongly to human origin, most likely produced inadvertently during removal of the flesh from the shoulder blade. From carnivores, two species are represented, one canine from a cave bear, and 10 remains from a fox. The fox remains come from all body parts and most likely from several individuals.



Fig. 30. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V1. *Bison pricus*, scapula, with cut marks.



## Doline V2

Overall 178 fragments or fragment groups were recovered from this doline (fig. 31). There seem to be no bones from the reddish-brown silty unit MIS 5d-5a, so that all material can be assigned to MIS 3. Almost one third of all remains (n=53) can be attributed to the mammoth and most of the 17 fragments that were attributed to the category mammoth/rhino will also belong to the mammoth, since no rhino remains were identified with certainty. Naturally, the teeth make up the majority of the remains, with 7 fragments from tusks, as well as 8 specifically identified jugular teeth and further 17 fragments from jugular teeth. Of the postcranial bones, only two fragments from the same scapula and one from a femur are present, as well as 14 fragments of long bones. The specifically identified teeth were attributed to the FAD stages. Two lower fourth milk premolars (Pd<sub>4</sub>), left and right, were assigned to FAD stage 5, which relates to an age at death of about 6 years. According to morphological similarities

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Mammuth/Rhino</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>Megaloceros giganteus</i>	<i>Cervidae</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Mammuth to Red deer</i>	<i>Ungulata large</i>	indet.	total
Os cornua			3	2	6			1		12
Cranium		2	1			1	1			5
D. max. inc.	7									7
D. max. inc. 3						2				2
D. max. praemol. dec. 4	1									1
D. max. praemol. 2						1				1
D. max. mol.			4	1		1				6
D. max. mol. 2	1									1
D. max. mol. 3						1				1
Mandibula	1					1				2
D. mand. inc. 1						2				2
D. mand. inc. 2						1				1
D. mand. inc. 3						1				1
D. mand. praemol. dec. 3	2									2
D. mand. praemol. dec. 4	2									2
D. mand. praemol.						1				1
D. mand. praemol. 2						2				2
D. mand. mol.			1			1				2
D. mand. mol. 1	1									1
D. mand. mol. 2	2		1							3
D. mand. mol. 3						1				1
D. mand. praemol-mol.						1				1
D. "jugales" sup-inf	17									17
D. indet.	1	1					1	1	1	5
Alveolen (mand. or max.)		1						1		2
Vertebrae cervicales			2							2
Vertebrae indet.								1		1
Costae		1					1			2
Scapula	2									2
Humerus			2			1				3
Ulna	1									1
Femur	1									1
Phalanx prox.						1				1
Os long	14	8					6			28
indet.		4					27	25		56
<b>total</b>	<b>53</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>36</b>	<b>4</b>	<b>26</b>	<b>178</b>

Fig. 31. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V2. Number of determined remains.

and the age class these two teeth are likely to stem from the same animal. A lower first molar was attributed to between FAD stage 8 to 9, which relates to an age of death of about 25 years. An upper and lower second molar (M<sup>2</sup> and M<sub>2</sub>) were both assigned to FAD stage 9 (~30 years), yet based on the morphology of the abrasion surface these two teeth must stem from two different individuals. Another second lower molar is about to be replaced and should indicate an age of about 35 years with a FAD stage 10. Given the different ages of the teeth, they indicate a Minimum Number of Individuals of 5 mammoths.

The horse is represented by 19 fragments, of which 15 are teeth, one fragment each of skull and mandible and only two postcranial bones, namely one humerus and one first phalanx. Among the teeth are 4 lower incisors from the same individual, plus 2 from the upper jaw, possibly also from same animal. Some jugular teeth could belong to same animal. Overall at least 2 individuals are represented by the teeth.

The bison is represented by 14 fragments, of which 6 are teeth, 3 are from the horn core, and one from the skull. From the remaining 4 postcranial fragments are two a cervical vertebra and two from the humerus. According to the age classes of the teeth, at least 2 individuals are represented. From the Giant Deer, 2 fragments of the antler and one from an upper molar were recovered.

## Doline V3

This small assemblage consists of only seven pieces (fig. 32) that are attributed to the MIS 3. From the bison, a rib is represented by two fragments that fit together, as well as a fragment from a humerus with a heavily eroded surface. From the horse, a milk tooth of a foal of two weeks of age at most is present, along with fragments of a lower premolar or molar that must stem evidently from a different individual. The two remaining pieces are a very small splinter of a mammoth jugular tooth and a complete upper premolar from a woolly rhino. This last piece is heavily encrusted of unknown origin.

## Doline V4

The only osteological remain from this doline is a jugular tooth of a mammoth. However, it is heavily fragmentary and cannot be determined further. It comes from the earlier reddish-brown silty unit attributed to MIS 3

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>Equus germanicus</i>	total
D. max. praemol.		1			1
D. mand. praemol. dec. 4				1	1
D. mand. praemol-mol.				1	1
D. "jugales" indet. sup-inf	1				1
Costae			2		2
Humerus			1		1
<b>total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>7</b>

Fig. 32. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V3. Number of determined remains.

	Cervidae	Equus germanicus	Ungulata large	indet.	total
Os cornua	1				1
Costae		1	1		2
indet.				5	5
total	1	1	1	5	8

Fig. 33. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V5. Number of determined remains.

### Doline V5

This doline has yielded 8 fragments and fragment groups, of which one rib of a horse and some small pieces of a cervid antler are the only determinable remain (fig. 33). Some other rib fragments might belong to the horse rib. The remaining fragments are too small and eroded to be determined more specifically. All bones can be attributed to the MIS 3.

	Mammuthus primigenius	Coelodonta antiquitatis	Mammuth/rhino	Bison priscus	Megaloceros giganteus cf. Cervus elaphus	Cervidae	Equus germanicus	Mammuth to Red deer	Ungulata large	Ungulata small	Ursus spelaeus	indet.	total
Os cornu (shed)				1									1
Cranium						1	2						3
Os temporale, pars petrosa								1					1
D. max. inc.	3												3
D. max. praemol.							2						2
D. max. praemol. 2							1						1
D. max. mol.				2	2		4						8
D. max. mol. 1				1									1
D. max. praemol.-mol.							9						9
Mandibula							1						1
D. mand. inc. 1							1						1
D. mand. inc. 3							1						1
D. mand. mol.				1			2						3
D. mand. mol. 3	1						1						2
D. "jugales"indet.sup-inf			1		1							1	3
D. indet.							1		1				2
Vertebrae cervicales				3			1						4
Vertebrae lumbales				4									4
Costae								1	1				2
Humerus		2					1						3
Radius				1									1
Radius-Ulna				1									1
Metacarpalia princip.				1									1
Os coxae				1			3		1				5
Femur							1			1			2
Tibia													1
Calcaneus							1						1
Os tarsale II et III				1									1
Os centroquartale				2									2
Os metatarsale II							1						1
Metatarsalia princip.				2		1							3
Metapodium princip.							3						3
Os sesamoideum distale							1						1
Os long	1						1	1	5	1			9
indet.	1	4						21	4			19	49
total	6	2	5	20	1	3	2	38	24	12	1	21	136

Fig. 34. Courtedoux - Vâ Tche Tchâ, Doline V6\_MIS 3. Number of determined remains.

### Doline V6

In this doline, altogether 149 fragments or fragment groups were recovered, of which 139 can be attributed to the layers dated to the MIS 3 (fig. 34), and 13 to those of the MIS 5d-5a (fig. 35).

In the assemblage of the MIS 3, the horse is the dominant species with 38 fragments, of which 22 are teeth. Age determinations revealed several individuals of different age, ranging from young individuals of 2-4 years, to 5-8 years, and very old individuals that were certainly considerably older than 10 years. The Minimum Number of Individuals is therefore to be set at 3. The bison is numerically the second best represented species with 24 remains, among which are 4 upper and 3 lower molars. From the axial skeleton, 7 vertebrae were recovered, which can be said to be an exceptional number. These elements could possibly stem from the same individual. Noteworthy is an almost complete metatarsal bone (also known as cannon bone), that had previously been identified and published as belonging to a Giant Deer (Becker et al. 2009; pl.1a). The attribution to the bison is, however, certain. From the mammoth, 3 tusk fragments and a molar fragment are present as well as two fragments of long bones. The molar has been assigned to the FAD stage 11, which translates to an age of about 40 years. The tusk fragments could well belong to the same individual as the molar since their size indicate an adult individual.

From rhino, the diaphysis of a humerus with eroded and likely chewed off epiphyses is the most conspicuous fragment (fig. 36). The gnaw marks are small and few, but the good preservation of the diaphysis with the complete absence of the epiphyses point to their consumption by large carnivores in combination with a subsequent erosion of the region. From the giant deer, the base of a shed antler is present, and based on the size of the burr, the enlarged proximal end of the beam, it stems presumably from a large, prime adult male (fig. 37). The red deer is represented by two teeth and some more, small tooth fragments that likely belong to the complete teeth. The cave bear is represented by a relatively complete femur (fig. 38).

	Coelodonta antiquitatis	Bison priscus	Equus germanicus	Mammuth to Red deer	Ungulata large	Ungulata small	indet.	total
Os temporale, pars petrosa				1				1
D. max. mol. 2		1						1
D. max. praemol.-mol.			1					1
D. mand. mol. 2		1						1
D. mand. mol. 3		1						1
D. "jugales"indet.sup-inf	1							1
D. indet.					1			1
Tibia		1						1
Metapodium princip.						1		1
Phalanx prox.						1		1
indet.				1			2	3
total	1	4	1	2	1	2	2	13

Fig. 35. Courtedoux - Vâ Tche Tchâ, Doline V6\_MIS 5d-5a. Number of determined remains.



Fig. 36. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ. Doline V6\_MIS 3. *Coelodonta antiquitatis*, humerus with eroded and possibly gnawed epiphyses.



Fig. 37. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V6\_MIS 3. *Megaloceros giganteus*, shed antler, burr on the left.

### Doline V7

In this doline, only 7 small unidentifiable bone fragments or fragment accumulations were recovered. The largest fragment is from a flat bone, measuring barely 3 cm in length. It can only be added that none of the fragments bears any traces of human origin.



Fig. 38. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V6\_MIS 3. *Ursus spelaeus*, femur.

### Doline V8

In this doline, 103 fragments of fragment groups were recovered, of which 30 can be attributed to the layers dated to the MIS 3 (fig. 39), and 73 to those of the MIS 5d-5a (fig. 40). In the assemblage attributed to MIS 3, the horse is represented with 4 fragments, of which 3 are teeth, and the remaining piece is a calcaneus. The bison is also represented by 4 pieces, all of them from the postcranial skeleton, i.e. one fragment from a humerus, one from a metacarpal bone and two from a tibia. The two fragments of a tibia could be refitted, although the connecting surfaces are somewhat eroded. This indicates that the bone was already broken before being embedded in the sediment.

The surface of the diaphysis fragment is perfectly preserved but no signs of human impact or flint utilization could be detected. The distal epiphysis is somewhat eroded, possibly or partially from gnawing, with one conspicuous mark that lets one think of an impact of a sharp but round-headed object. A spatula, used during excavation, would also be a possibility, but the surface does not appear to be very fresh. The origin of this mark remains elusive. From the rhinoceros, two fragments of lower premolars/molars are present, one almost complete tooth and one small fragment. From the humerus, only a small part of the distal trochlear surface is preserved. From the cave bear, an almost complete ulna as well as one lumbar vertebra is present. The distal part of the ulna is missing and the fresh fracture surface indicates that this happened recently. However, proximally, the olecranon was chewed off

	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Mammuth/Rhino</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>Cervidae</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Ungulata large</i>	<i>Ungulata small</i>	<i>Ursus spelaeus</i>	indet.	total
Os cornua				1						1
D. max. praemol. dec. 2					1					1
D. max. praemol.-mol.					2					2
D. mand. praemol.	1									1
D. "jugales" indet.sup-inf	1									1
Vertebrae lumbales								1		1
Scapula				1						1
Humerus	1		1							2
Ulna								1		1
Metacarpalia princip.			1							1
Tibia			2							2
Calcaneus					1					1
Phalanx prox.							1			1
Os long		1				1				2
indet.		1							11	12
total	3	2	4	2	4	1	1	2	11	30

Fig. 39. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V8\_MIS 3. Number of determined remains.

as indicated by some tooth marks. From the vertebra, only the body is completely preserved with a small part of one of the arcs. No human made traces could be discovered.

In the assemblage attributed to the MIS 5d-5a (fig. 40), the horse is represented by 21 fragments, of which 18 are teeth. The teeth could be assembled according to the age and morphological criteria to represent at least 2 individuals, one very old one with heavily worn teeth, and a young one of between 3 and 5 years of age. The mammoth is represented by 17 pieces, of which 9 were from teeth. Two of them are larger fragments of molars, one could be assigned to FAD stage 5 which translates to an age of about 6 years. The second, smaller fragment is likely to be also a molar of that age group and could possibly belong to the same individual. Two more molar fragments could also belong to this animal, but they are too fragmentary to be sure. One large fragment of a humerus shows a perfect surface preservation, but no human made traces could be detected. From the bison, 3 tooth fragments and metacarpal bone were recovered. Apart from an almost complete upper second molar of a relatively young adult individual, none of the other tooth fragments allowed a more specific determination. An almost complete talus of a red deer is preserved. The fresh break indicates that the chip came off during excavation. Judging from the size it belongs to a small animal, either female or young male. A fragment of an antler cannot be attributed to species level. It could be a tine from a red deer, but other cervid species cannot be excluded. A fragment of a scapula, with the glenoid fossa and about 10 cm of the caudal margin preserved, can be attributed to a medium sized ruminant, most likely a small deer. The last piece attributed to a small ruminant is the distal half of a proximal phalanx. With the joint surface completely eroded it cannot be determined more precisely.

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Mammuth/Rhino</i>	<i>Bison priscus</i>	cf. <i>Cervus elaphus</i>	<i>Equus germanicus</i>	indet.	total
Os temporale, pars petrosa						1		1
D. max. inc.						1		1
D. max. inc. 1						1		1
D. max. can.						1		1
D. max. mol.				2		1		3
D. max. mol. 1	1							1
D. max. praemol.-mol.						2		2
D. mand. praemol. dec. 3		1						1
D. mand. praemol.						1		1
D. mand. mol.						1		1
D. mand. mol. 2	1							1
D. mand. praemol.-mol.						6		6
D. "jugales" indet.sup-inf	7		1	1		4		13
D. indet.			1					1
Humerus	1							1
Os carpi radiale						1		1
Metacarpalia princip.				1				1
Talus					1			1
Phalanx prox.						1		1
Os long	6		2				1	9
indet.	1		2				22	24
total	17	1	6	4	1	21	23	73

Fig. 40. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V8\_MIS 5d-5a. Number of determined remains.

## Doline V14

This large doline yielded altogether 50 fragments and fragment groups, of which 39 can be attributed to the MIS 3 (fig. 41) and 11 to MIS 5d-5a (fig. 42). The mammoth with 17 remains has the largest number of finds, but they consist of a tusk with many fragment groups coming from this element. This tusk-fragment is the tip of tusk as evidenced by the conic form of it. Apart from this tusk, two second upper molars with identical abrasion stage from opposite sides should belong to the same individual. According to their FAD stage 8-9, the age of the animal should be around 25 years, being regarded as a young adult animal. A heavily abraded first molar might well belong to this individual as well. No bone fragments of mammoth were retrieved.

The horse is represented by 15 elements, of which are 8 complete jugular teeth. They form an upper left row from P4 trough M3, and the counterpart of the right side of the body from P4 trough M2. A right upper M3 is quite similar in terms of abrasion stage but morphologically it cannot belong to the same individual, therefore raising the MNI to at least two horses. The remaining tooth fragments are all small fragments and not further determinable. The 4 postcranial elements are one complete metacarpal bone with a heavily eroded surface, one complete talus, also heavily leached, a slightly fragmented calcaneus, and a small fragment of a tibia. No human made traces could be detected. From the bison, fragments of 3 postcranial bones were retrieved,



	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>Cervidae</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Mammut to Red deer</i>	total
D. max. inc.	13					13
D. max. praemol. 4				2		2
D. max. mol. 1				2		2
D. max. mol. 2	2			2		4
D. max. mol. 3				2		2
D. max. praemol.-mol.				3		3
D. mand. mol. 1	1					1
D. incisivi indet.sup-inf	1					1
Scapula		1				1
Radius-Ulna			1			1
Ulna			1			1
Metacarpalia princip.				1		1
Tibia				1		1
Talus				1		1
Calcaneus				1		1
Os centroquartale		1				1
Metatarsalia princip.		1				1
Os long			1		1	2
total	17	3	3	15	1	39

Fig. 41. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V14\_MIS 3. Number of determined remains.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>cf. Cervus elaphus</i>	<i>Equus germanicus</i>	total
D. max. praemol. dec. 4	1				1
D. max. praemol. 2	2				2
D. max. praemol. 4	1				1
D. max. mol. 1	1				1
D. max. mol. 2	1				1
D. max. mol. 3	2				2
D. max. praemol.-mol.				1	1
D. mand. mol. 3			1		1
Os tarsale II et III		1			1
total	8	1	1	1	11

Fig. 42. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V14\_MIS 5d-5a. Number of determined remains.

a scapula, a tarsal bone and a metatarsal bone. All these bones have heavily eroded surfaces so that no traces of human impact could be expected.

In the assemblage dated to the MIS 5d-5a, the rhinoceros is the species best represented with eight upper jugular teeth. Apparently, they stem all from one individual. These are from the left side, the P2, the P4, together with the Pd4, and the M3. From the right body side, these are the P2, the M1, M2 and some fragments from the M3. It is noteworthy, especially for the age determination of the animal that the Pd4 was apparently still present

with the P4 underneath, which had not broken through. The M2 does not show any traces of wear, neither the M3, which is of course behind the M2 in terms of its development and will be still quite deeply situated in its papilla. The age of the animal at its death can be estimated to be around 5 years of age, so this animal could be called an adolescent or very young adult.

The remaining three fragments stem from a bison, with a tarsal bone, from probably a red deer, with a third molar, and from the horse, with an upper jugular tooth.

### 3.4 Courtedoux-Béchat Bovais

From this doline, altogether 40 fragments and fragment groups were present, of which 5 can be attributed to the MIS 3 and 35 to the MIS 5d-5a (fig. 43).

In the assemblage of the MIS 3, the horse is represented by a mandible with a milk tooth and a permanent tooth implanted, stemming evidently from a young animal. From a reindeer a fragment of a pelvic bone is present and an undetermined bone fragment completes this small assemblage.

In the larger assemblage of the MIS 5d-5a, the horse is the most numerous with 15 pieces, all of which are teeth. Likewise are the 6 pieces from the bison all teeth, and from a mammoth is one fragment of a jugular tooth also the only piece present. The remaining bone fragments were all not determinable specifically. None of them did bear any traces that would be of anthropogenic origin.

	<i>Mammut/Rhino</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>Cervidae</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Mammut to Red deer</i>	indet.	total
D. max. praemol. dec.				1			1
D. max. praemol. 2				2			2
D. max. mol.		1					1
D. max. mol. 3				2			2
D. max. praemol.-mol.				2			2
Mandibula		1					1
D. mand. inc. 1				1			1
D. mand. praemol. dec.				2			2
D. mand. praemol. 2				1			1
D. mand. mol.				2			2
D. mand. mol. 1		1					1
D. mand. mol. 2		2					2
D. mand. mol. 3		1		1			2
D. incisivi indet.sup-inf				1			1
D. "jugales" indet.sup-inf	1						1
Costae						1	1
Scapula					1		1
Metatarsalia princip.			1				1
indet.		2			1	7	10
total	1	2	6	15	2	8	35

Fig. 43. Courtedoux-Béchat Bovais, MIS 5d-5a. Number of determined remains.

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Mammuth/Rhino</i>	<i>Bison priscus</i>	<i>cf. Cervus elaphus</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>indet.</i>	<i>total</i>
Os cornua					1			1
Cranium	38							38
D. max. inc.	30							30
D. max. praemol. 3		1						1
D. max. mol. 2		1						1
D. max. praemol.-mol.						2		2
Mandibula	2							2
D. mand. praemol.						1		1
D. mand. mol.					1	1		2
D. mand. mol. 3	3							3
D. "jugales" indet.sup-inf					1			1
Vertebrae cervicales				1				1
Scapula	1					1		2
Radius-Ulna						1		1
Os coxae						1		1
Femur	1							1
indet.	19		10				11	40
total	94	2	10	1	3	7	11	128

Fig. 44. Courtedoux-Sylleux, MIS 3. Number of determined remains.

### 3.5 Courtedoux-Sylleux

This doline contained overall 133 fragment groups, of which 128 can be attributed to the MIS 3 (fig. 44) and the remaining 5 fragment groups to the MIS 5d-5a (fig. 45). The number of 128 fragment groups is somewhat misleading since 38 fragment groups come from a skull and 33 from the tusk of the mammoth. In addition to these elements, two fragments from a mandibula and 3 of lower molar teeth are present, as well as one femur and 19 smaller fragments that cannot be attributed to a skeletal element specifically.

The horse is the second most numerous represented species with seven elements. Besides 4 jugular teeth, fragments of a scapula, a radius and a coxal bone are present as well. One cervical vertebra is the only element that can be attributed to a bison. From the red deer, one antler fragment as well as two jugular teeth could be identified.

From the five fragment groups that are attributed to the MIS 5d-5a, one is a molar from the horse while the remaining four elements are from a mammoth, with 3 fragments from a tusk and one from a molar tooth.

### 3.6 Chevenez-Combe Ronde

All of the few remains that this small doline yielded can be attributed to the early phase of MIS 3 (fig. 46). Most of them belong to the rhino, most likely to one individual. With the teeth counted each separately, the rhino is represented by 20 pieces. Present

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>total</i>
D. max. inc.	3		3
D. mand. mol.		1	1
D. "jugales" indet.sup-inf	1		1
total	4	1	5

Fig. 45. Courtedoux-Sylleux, MIS 5d-5a. Number of determined remains.

are the neurocranium that is basically complete and undamaged, furthermore the adjacent part of the upper skull, with the frontal and nasal bone, which bears the rugosities for the attachment of the horn. The maxillary bones are missing so are the upper teeth besides at least one present in the form of about 20 fragments. The lower jaws seem to be basically complete, with the teeth from P<sub>4</sub> to M<sub>3</sub> of both sides still in place in the mandibular rami. The first cervical vertebra, the atlas, is also almost completely present as well as fragments of a further cervical and two thoracic vertebra. From the appendages, only one fragment of a probable carpal bone is present.

The horse is present with 4 pieces, each of them representing basically complete skeletal elements. One thoracic vertebra is preserved with the entire spinal process. A cannon bone from the hind leg (metatarsus) is also complete, and so is a medial phalanx.

One fragment of a molar tooth is the only fragment belonging to the mammoth. Two fragments from a rib cannot be more specifically attributed but to a large ungulate. Three small fragments cannot be attributed at all.

	<i>Mammuthus primigenius</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Equus germanicus</i>	<i>Ungulata grands</i>	<i>indet.</i>	<i>total</i>
Cranium		2				2
D. max. praemol.-mol.		2				2
Mandibula		3				3
D. mand. praemol. 4		2				2
D. mand. mol. 1	1	2				3
D. mand. mol. 2		2				2
D. mand. mol. 3		1				1
Vertebrae cervicales		1				1
Vertebrae thoracicae		2	1			3
Costae		2		2		4
Radius-Ulna			1			1
Carpalia		1				1
Metatarsalia princip.			1			1
Phalanx media			1			1
indet.					3	3
total	1	20	4	2	3	30

Fig. 46. Chevenez-Combe Ronde, MIS 3. Number of determined remains.

### 3.7 Conclusions

The excavations of the doline fillings in the canton Jura yielded a tremendous body of information on late Pleistocene environmental conditions, including human, i.e. Neanderthal, presence. These kind of information are rare for Switzerland due to the fact that remains of human settlement as well as animal and plant communities had been eradicated by the spread of the alpine glaciers into the largest part of Switzerland, the Swiss Plateau, during the phase of the Last Glacial Maximum, between 30 and 20'000 years BP. Although the dolines are not to be considered archaeological settlement sites, they did function as collectors of remains from the palaeo-landscape, including animal remains that were hunted by humans, and human-made stone tools.

#### Species presence

The identified species are the representatives of the so called mammoth-woolly rhinoceros-biome. The numbers of bones retrieved of the respective species are, albeit, only a rough indicator for their abundance in the life assemblage of the time. On the one hand, their different size and preservation potentials together with other taphonomic factors account for differential loss of some of the remains. Nevertheless, when the minimum number of individuals present in the various dolines are analysed several points become apparent: the horse is the best represented species with 17 individuals in the layers of the MIS 3 and 7 individuals in the MIS 5d-5a. It is present in almost all dolines but VTA V4, which has only one single bone of a mammoth preserved. The horse is thus the most ubiquitous species in the assemblages of both time sequences and in all dolines together. It is quite conceivable that this does indeed reflect the relative abundance of this species in the life assemblage of both time periods.

The second most abundant species in the retrieved remains from the dolines is the mammoth with 13 individuals from the MIS 3 and 5 from the MIS 5d-5a. Apart from the number it is also represented in almost all the dolines. For this large herbivore one would expect that it is less abundant than the horse, but its ubiquitous representation in the fossil record might reflect the higher preservation probabilities, especially of its large teeth including its tusks.

The woolly rhinoceros and the steppe bison are the two other large herbivores that are also quite well represented in both time windows with 7 and 4 and 5 and 7 individuals for the rhino and the bison respectively. The remaining herbivores, the giant deer, the red deer and the reindeer, are less abundant with less than 3 individuals for all of them. Nominally a carnivore, the cave bear was mostly a vegetarian as well and its low numbers are not surprising since its abundance in the life assemblage should also be expected to be much lower than that of the true herbivores. The large carnivores present at the time in the area, like lion and hyena, left their traces on the skeletal material of the herbivores in the form of gnawing marks. Given their low densities in the environment and the relatively low numbers of remains retrieved from the various doline fillings it is not astounding that no skeletal remains were found.

The presence of humans in the area is indirectly attested by the presence of stone tools left by them, and by cut marks left on the bones of the hunted animals. In both cases are the remains to be considered part of the palaeo-landscape that got incorporated into the doline filling by chance.

### Bibliographie

- Becker D., Aubry D. & Detrey J. 2009: Les dolines du Pléistocène supérieur de la combe de « Vâ Tche Tchâ » (Ajoie, Suisse): un piège à restes de mammifères et artefacts lithiques. *Quaternaire* 20.2, 123-137.
- Becker D., Dini M. & Scherler L. 2015: Rhinocéros laineux du Pléistocène supérieur d'Ajoie (Canton du Jura, Suisse): description anatomique et implications écologiques. *Revue de Paléobiologie* 34.1, 27-44.
- Rothen J., Becker D. & Berger J.-P. 2012: Morphométrie des dents jugales du mammoth laineux (*Mammuthus primigenius*) découvertes dans les remplissages pléistocènes de dolines d'Ajoie (Jura, Suisse). *Actes de la Société jurassienne d'Émulation* 114, 17-36.
- Savoy J., Scherler L. & Becker D. 2013: Variabilité morphologique et biométrique des dents d'*Equus germanicus* des dolines pléistocènes d'Ajoie (Jura, Suisse). *Actes de la Société jurassienne d'Émulation* 115, 17-36.
- Scherler L., Tütken T. & Becker D. 2014: Carbon and oxygen stable isotope compositions of late Pleistocene mammal teeth from dolines of Ajoie (Northwestern Switzerland). *Quaternary Research* 82.2, 378-387.

# 4

## **Dolines in the Ajoie region: Late Pleistocene climate, environment and human activity**

Jean Detrey, Denise Leesch



## 4.1 Introduction

Nearly all the artefacts recovered from the dolines have been studied and published in detail previously in a synthesis on the Middle Palaeolithic in the canton of Jura (Detrey 2010). Few artefacts possibly of Middle Palaeolithic age from the Mesolithic site Bure-Montbion have also been presented in a monograph of that site published in 2008 (Detrey & Saltel 2008, p. 47-48). Since the number of characteristic objects from each doline is very small (between 1 and 14 artefacts), the various assemblages do not allow any statistical treatment and most of the pieces can be described individually.

The petrographic determinations of the artefacts have been achieved by J. Affolter using macroscopic and microscopic criteria to attribute the different raw materials to a specific geological horizon. The identifications are based on the comparison of the archaeological artefacts with a reference collection including a very large number of geo-localized samples from the Jura mountain area and adjacent regions (Affolter 2002).

The attribution of the artefacts to the Middle Palaeolithic is achieved on the basis of typological, technological and petrographic criteria. In some cases the stratigraphic position and the faunal remains associated with the lithic industry confirm the chronological attribution to this period. However, it has to be stressed that the that artefact composition must be considered more like fortuitous assemblages, that are not necessarily representative of what was originally present in the infilling since. Most pieces were indeed recovered by machine excavation and not through excavating with a trowel and systematic sieving, thus producing necessarily truncated assemblages.

Although most Mousterian artefacts recovered from the dolines have been described in detail in a previous publication (Detrey 2010), they are presented again in this monograph in order to allow a direct link between the archaeological and palaeontological material and its stratigraphic find context. Some pieces found in two dolines that were excavated only after the article published in 2010, notably from doline Vâ Tchê Tchâ-V8 and Tchâfouè, are added in this monograph. Most of the descriptions are translated from J. Detrey (2010). The dolines are presented separately hereafter, following a geographic gradient of the localities, from north to south: Boncourt, Courtedoux and Chevenez (cf. p. 12-13).

## 4.2 Boncourt-Grandes Combes

The assemblage comprises 11 artefacts: 1 core, 1 flake and 9 tools (fig. 47). The majority of the pieces (7) are made from fine-grained Kimmeridgian flint sources (type 114) located in the Alle region, less than 10 km south of the site. Three artefacts are made from fine-grained quartzite pebbles from the locally present *Sundgau-* or *Vogesenschotter* and one is made from Sequanian flint (type 142) from the region of Ferrette (Haut-Rhin, F), some 15 km east from the site.

The core shows alternating removals on the two surfaces: two on the first surface, then two on the next one and again another one on the first surface. Some of the flakes extracted from this core may bear a cortical back. The operational mode is organized by using the flaking surface as a striking platform, since the flaking can then thus invade a previously exploited surface. This model evokes operational modes described at Montsaugéon (Haute-Marne, F), in a context attributed to the Clactonian (Amiot 1993). It can also be compared to the core reduction scheme of SSDS type (*système à surface de débitage successif*; see Detrey 2000), in which however the flaking never returns to an already exploited surface. Nevertheless, it is not certain whether the distinction of these two core reduction methods is relevant; it may express two different exploitation phases within a globally identical operational mode.

The flake is a Levallois flake with a flat butt and a marked bulb (fig. 47.1). The dorsal negatives show a cordal organization of the predetermining removals. The flake was struck from a fine-grained quartzite pebble.

The tools can be subdivided into three groups: six sidescrapers, one retouched flake and two endscrapers. Among the sidescrapers, two are convex lateral scrapers; one of them is fractured. In both cases, the retouch is semi-abrupt, continuous, direct, short and scaled. The fractured piece is made on a flake with remaining cortex; it shows a flat butt and a well-marked bulb (fig. 47.5). The other sidescraper is made on a simple flake with a flat butt (fig. 47.3). The left side has removed part of the core's edge, thus creating a back. The latter is associated with a bulb; they testify a first attempt of an unsuccessful extraction.

The assemblage also comprises a transverse sidescraper of slightly concave shape (fig. 47.6). The retouch is semi-abrupt to abrupt, total, long, direct and scaled. The blank is a debordant flake with a punctiform butt and a well-marked percussion bulb.

The sidescraper assemblage is completed by a piece with a thinned back (fig. 47.4). The retouch is semi-abrupt, total, direct, long and scaled; it invades the proximal end of the blank. The back is thinned by a flat, total, invasive and scaled retouch that also transformed the proximal end of the blank. This blank is a cortical flake of flint originating from the region of Ferrette.

The last two sidescrapers are of the type *racloir déjeté d'angle*. The first of them has a single angle, formed by a semi-abrupt, direct, short and scaled retouch localised on part of the right edge. The blank is a cortical flake, maybe a frost shatter. The second one has two angles (fig. 47.7) obtained by a semi-abrupt, total, direct, long and scaled retouch. The blank is a cortical flake with a cortical butt and a discrete percussion bulb.

Besides these sidescrapers, one also notes the presence of a flake with a retouch on the ventral surface (fig. 47.2). The retouch is flat, long, inverse and scaled. The blank is a Levallois flake with



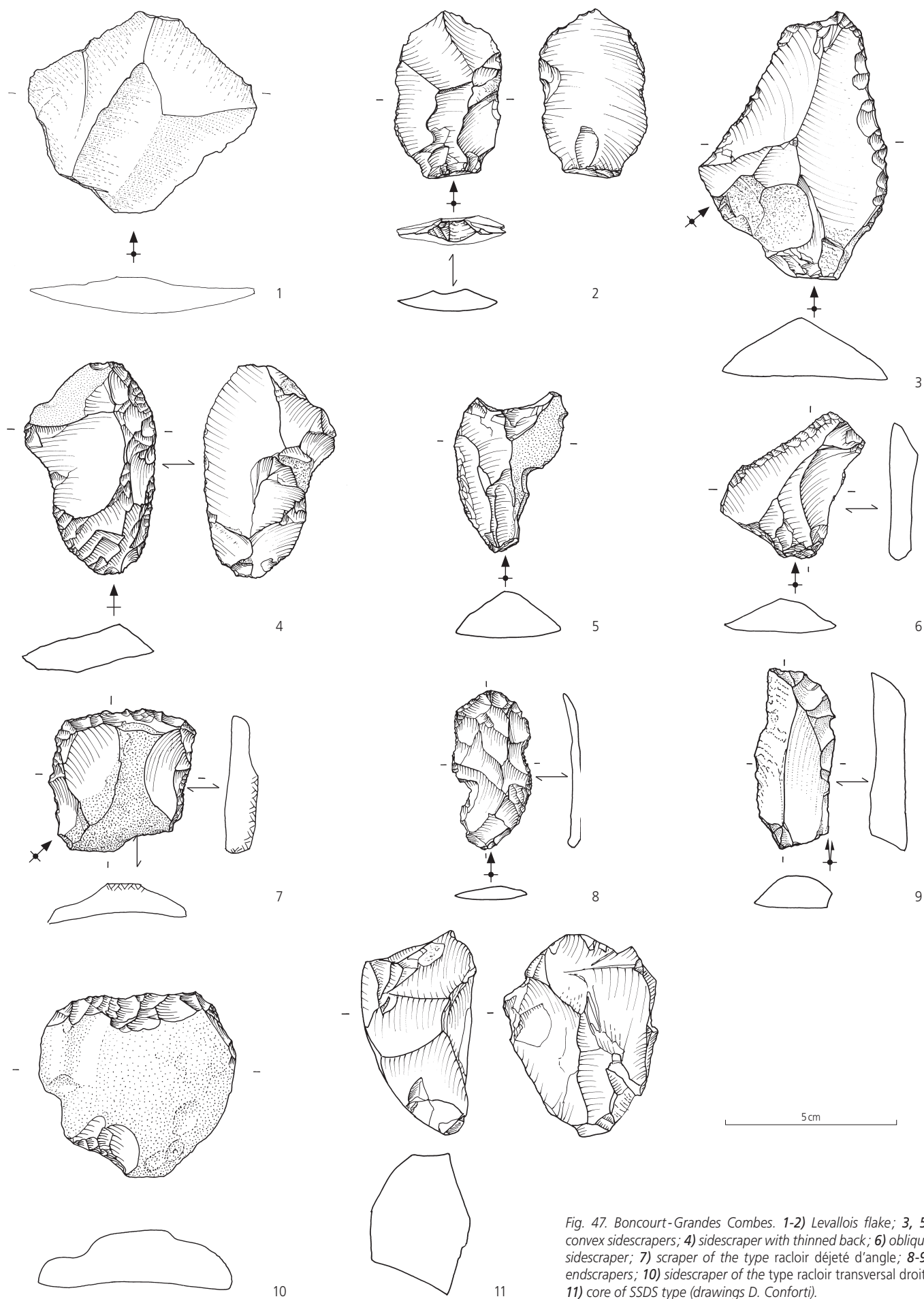


Fig. 47. Boncourt-Grandes Combes. 1-2) Levallois flake; 3, 5) convex sidescrapers; 4) sidescraper with thinned back; 6) oblique sidescraper; 7) scraper of the type racloir déjeté d'angle; 8-9) endscrapers; 10) sidescraper of the type racloir transversal droit; 11) core of SSDS type (drawings D. Conforti).

a faceted butt and a weak bulb. The dorsal negatives show a majority of predetermined removals oriented in the same direction.

The two last tools are endscrapers. The first one is made on a long Levallois flake (fig. 47.8). Its retouch is semi-abrupt, short, direct and scaled. The butt is dihedral and the bulb is diffuse.

The other scraper shows a semi-abrupt, direct, long and subparallel retouch (fig. 47.9). The blank is a simple flake, fractured by a Siret break. It has been struck in a fine-grained quartzite. The attribution to the Mousterian is based on the blank in the first case, and on the raw material in the second case.

### 4.3 Courtedoux-Vâ Tche Tchâ

Five dolines from Vâ Tchê Tchâ have produced 19 artefacts in total that can be attributed to the Mousterian. Some of the pieces bear clear Mousterian characteristics; others are ubiquists and are not characteristic of any tradition. Their attribution to the Mousterian is based on the stratigraphic position, and on various dating elements (Becker et al. 2009). The absence of any traces of later human occupations within this assemblage is also an argument in favour of the Middle Palaeolithic attribution.

#### Doline V2

This doline has not produced any flint artefacts but one pebble of fine-grained red quartzite from the *Sundgau*- or *Vogesenschotter* that was probably used as a hammerstone (fig. 48). The approximately spherical pebble (6.7 x 6.9 cm) weighs 348.5 g and bears distinct impact traces at one end associated with several negatives of flakes which do not create a regular cutting edge. The flakes thus seem to be accidental. The pebble may have been used for flint knapping or for fracturing bones or other hard material. It may be compared to similar hammerstones found for example at Alle-Pré Monsieur but which are globally slightly smaller (Stahl Gretsche et al. 1999, fig. 49).

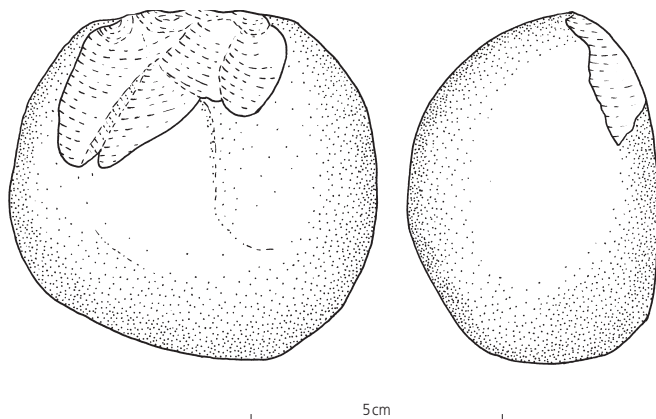


Fig. 48. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V2. Quartzite pebble used as a hammerstone (drawing D. Leesche).

#### Doline V3

The assemblage from this doline includes 14 artefacts: 2 cores, 7 flakes, 2 tools and 3 debris.

The two cores present a high degree of exploitation (fig. 50.1). In both cases, the flaking passes successively from one side to the other of the core, each flaking surface becoming the striking platform of the next one. This type of core reduction strategy is characteristic of the mode SSDS (with successive striking surfaces; see Detrey 2000).

The flaking products include one Levallois flake (fig. 50.2). The negatives on the dorsal surface show traces of opposite removals. The butt is flat and the bulb well-marked. A pseudo-Levallois point presents a modern fracture at the base (fig. 50.3). The dorsal negatives are orthogonal.

The other flakes show no particular characteristics and most of them are of small dimensions. The fractured flake is struck from an undetermined raw material. One debordant flake bears invasive centripetal dorsal negatives; the back and the butt are concave. These criteria may characterise a flake stemming from a discoid reduction sequence.

One oblique sidescraper (fig. 50.4; see also Becker et al. 2009, pl. 1-h) and one atypical endscraper (fig. 50.5) are the only tools. The retouch of the sidescraper is semi-abrupt, total, continuous, direct, short and scaled. The blank is a flake that can be cautiously interpreted as a debordant Levallois flake; the butt is faceted. The retouch of the endscraper is abrupt, continuous, denticulate, direct and scaled. The blank is a blade that certainly stems from a reduction sequence of Levallois concept; the butt is faceted and the bulb well-marked. The raw material of this scraper originates from Bendorf (type 135), all the other artefacts from this doline have been determined as Kimmeridgian flint of the type 114 originating from Alle.

#### Doline V4

Only one artefact has been recovered from this doline. It is a pseudo-Levallois point with a flat butt struck from a fine-grained quartzite (fig. 49; see also Becker et al. 2009, pl. 1-i). The dorsal removals are centripetal and the percussion bulb is pronounced.

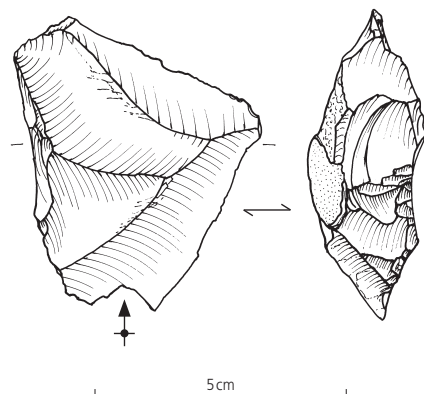


Fig. 49. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V4. Pseudo-Levallois point (drawing D. Conforti).

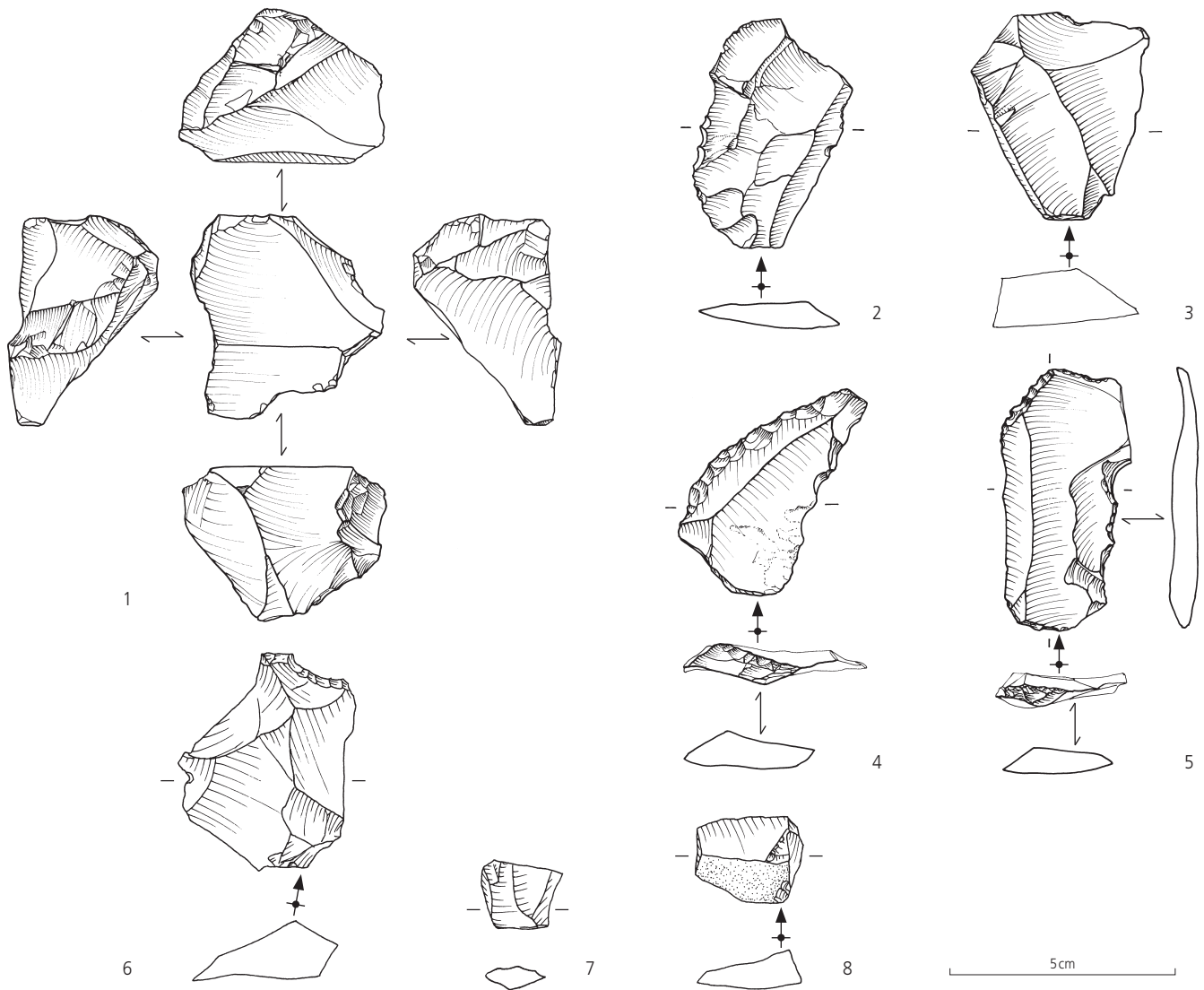


Fig. 50. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V3. 1) core from the SSDS type; 2) Levallois flake; 3) Pseudo-Levallois point; 4) sidescraper of the type racloir oblique; 5) endscraper; 6-8) Flakes (drawings D. Conforti and D. Leesch).

### Doline V6

Four artefacts were recovered from this doline: two flakes, one splinter and one pseudo-Levallois point. One of the flakes is a blade (fig. 51.1) presenting a flat butt and a weak bulb. The other one is a proximal fragment (fig. 51.2) with a flat butt and a well-marked bulb. Both pieces are made from a fine-grained flint of

the type 114 (Kimmeridgian, region of Alle). The pseudo-Levallois point is made from fine-grained quartzite. The dorsal removals are orthogonal; the butt is flat and the bulb well-marked. The ventral surface bears several inverse retouches on the three edges, one of them determining a concave *encoche* (fig. 51.3).

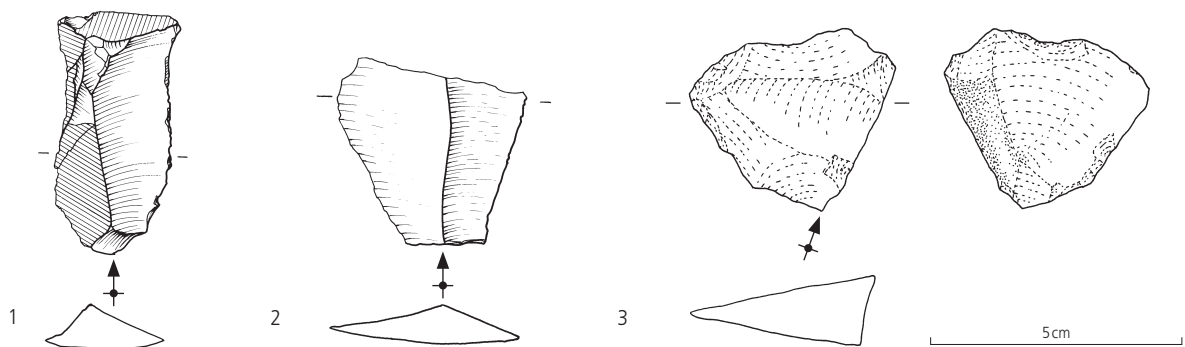


Fig. 51. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V6. 1) blade; 2) flake (fragment); 3) pseudo-Levallois point (drawings D. Conforti and D. Leesch)

### Vâ Tche Tchâ, doline V8

Three flakes were recovered from this doline (fig. 52). One of them is a small proximal fragment of flake with a faceted butt and a pronounced bulb (fig. 52.1). The second piece is a laminar flake with a flat butt and a diffuse bulb (fig. 52.2). The third object is a thin Levallois flake with a butt *en aile d'oiseau* and a pronounced bulb (fig. 52.3). The distal end bears a flat retouch and the proximal right edge is also retouched. The edges of this thin flake are quite fresh, which indicates that this piece has not been transported a long way before being embedded in the doline.

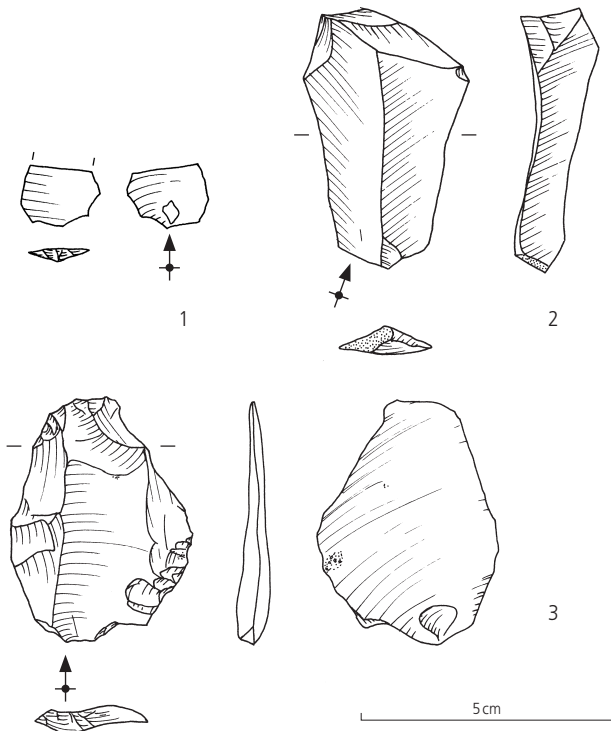


Fig. 52. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V8. 1) flake (proximal fragment); 2) flake; 3) Levallois flake (drawings D. Leesch).

### Doline V14

The lithics recovered from this doline comprise two simple flakes made from fine-grained quartzite (fig. 53.1-2). The two pieces do not show any specific characteristics. The butts are flat and the bulbs well-marked. The pointed shape of one of the pieces is probably fortuitous.

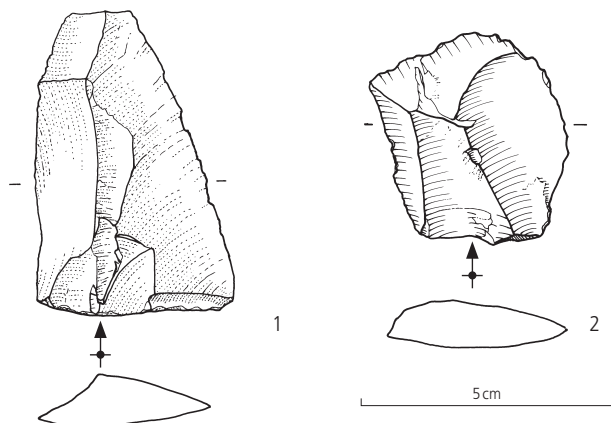


Fig. 53. Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Doline V14. 1-2) flakes (drawings D. Conforti).

### 4.4 Courtedoux - Tchâfouè

Only one artefact has been recovered from this doline (fig. 54). It is a simple flake made from raw material type 114 (Kimmeridgian, region of Alle). Typologically it can be termed as *couteau à dos naturel*. The butt is cortical and the bulb is rather weak. Some accidental retouches are located on the right edge and demonstrate that the flake was intensively used. Another small cortical fragment collected in this doline is not sure to be an artefact.

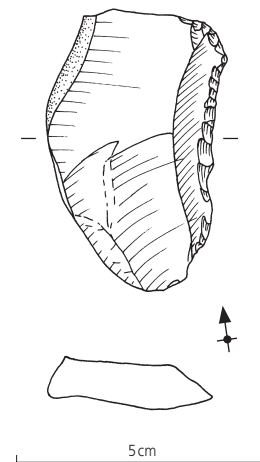


Fig. 54. Courtedoux - Tchâfouè. Couteau à dos naturel (drawing D. Leesch).

### 4.5 Courtedoux - Béchat Bovais

The material recovered from this doline includes one pebble tool made from a sandstone cobble (fig. 55.1), 6 unmodified flakes less than 2,5 cm maximum in length and 2 small debris less than 15 mm maximal dimension (fig. 55.2-7). They are flakes either with a flat, a punctiform or a splintered butt and a well-marked percussion bulb, suggesting that flaking was done with a hard hammer. Three of the flakes are small hinge fragments. The technological criteria are not diagnostic of a Middle Palaeolithic tradition but rather indicate Late Upper Palaeolithic or early Mesolithic technology. One of the flakes is altered by heat. The sandstone pebble weighs 302 g and shows several irregular negatives of flakes at both ends that suggest that the stone was used for direct percussion. Three radiocarbon dates made from charcoal found in the same layer than a small flint chip have produced dates of respectively  $9735 \pm 50$ ,  $9617 \pm 24$  and  $9585 \pm 52$  which correspond to the early Preboreal.

### 4.6 Dry valley Chevenez - Combe En Vaillard

The material from this site has mostly been recovered in secondary position, within the same layers that contained objects from later human occupations, notably Mesolithic (Aubry & Detrey 2008), middle Neolithic and Bell beaker (Deslex Skeikh et al. 2006), Bronze age and Iron age (Deslex et al. 2010) as well as early Medieval (Évéquoz et al. 2012). Since some of the flints are not diagnostic of any specific period (simple flakes, splinters, etc.) and may belong to the Mesolithic occupations, the artefacts that can be attributed to the Middle Palaeolithic have been reduced to 7 objects: one core, two flakes and four tools (fig. 56).

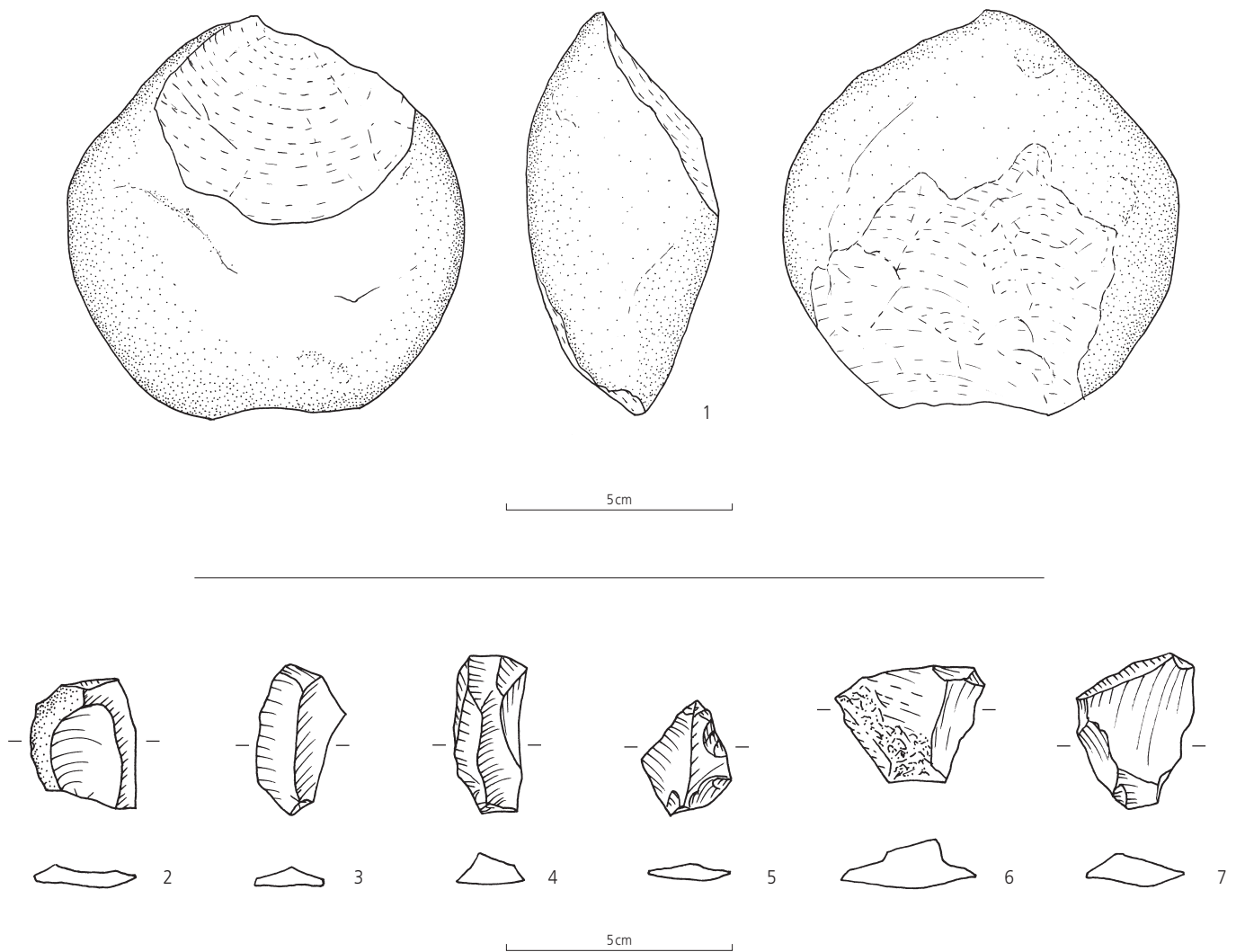


Fig. 55. Courtedoux-Béchat Bovais. 1) hammerstone, quartzite pebble; 2-7) flakes (drawings D. Leesch).

The core is of Levallois concept. It bears a lateral and a distal fracture (fig. 56.1). The preparation of the striking platforms is continuous but partial. On the remaining fragment, the negatives show a recurrent unidirectional exploitation of the surface and a rearrangement of the lateral convexity by a series of orthogonal removals. The raw material used is Séquanian flint of the type 135, originating from Bendorf (Haut-Rhin, F).

The flaking products comprise a pseudo-Levallois point and a simple overpassing flake. The point shows a flat butt and an invasive bulb (fig. 56.4). The flake shows a faceted butt and a discrete bulb (fig. 56.2). The raw material used is a type of phthanite. Up to now, this material is only known in this region from the Mousterian site of Alle-Pré Monsieur (Rebmann 1999). It may come from the south of the Vosges massif; however, the presence of many microfissures which are probably due to saltation, probably indicates that it could stem from a pebble. In this case, the origin could be more local, notably the *Vogesenschotter*.

The tools comprise one *limace* (fig. 56.3). The retouch is semi-abrupt, continuous and nearly total – only the butt is not

retouched – direct, long and scaled. The blank is a blade with a flat butt and a well-marked bulb. The raw material comes from the Rauracian layers (type 160) near Courchavon (JU).

The three other tools are sidescrapers. The first one is a scraper with an alternating retouch (fig. 56.6). The retouch is semi-abrupt, partial, short and scaled. The blank is a naturally backed knife (*couteau à dos naturel*) with a cortical butt and a discrete bulb.

The second scraper is of double convex type (fig. 56.7). The retouch is semi-abrupt, continuous, direct, short and scaled. It is total on the right edge, partial on the left edge. The blank is a simple flake with a linear butt and a discrete bulb. The raw material could not be determined.

The last scraper is a *racloir déjeté d'angle* (fig. 56.5). The retouch is semi-abrupt, continuous, direct, long and scaled. It becomes abrupt on the distal edge and is only partial at this end. The modified blank is a flake with remaining cortex with a flat butt and a marked bulb. The raw material stems from Miocene layers in the region of Tüllingen (type 341), near Lörrach (South-West Germany).



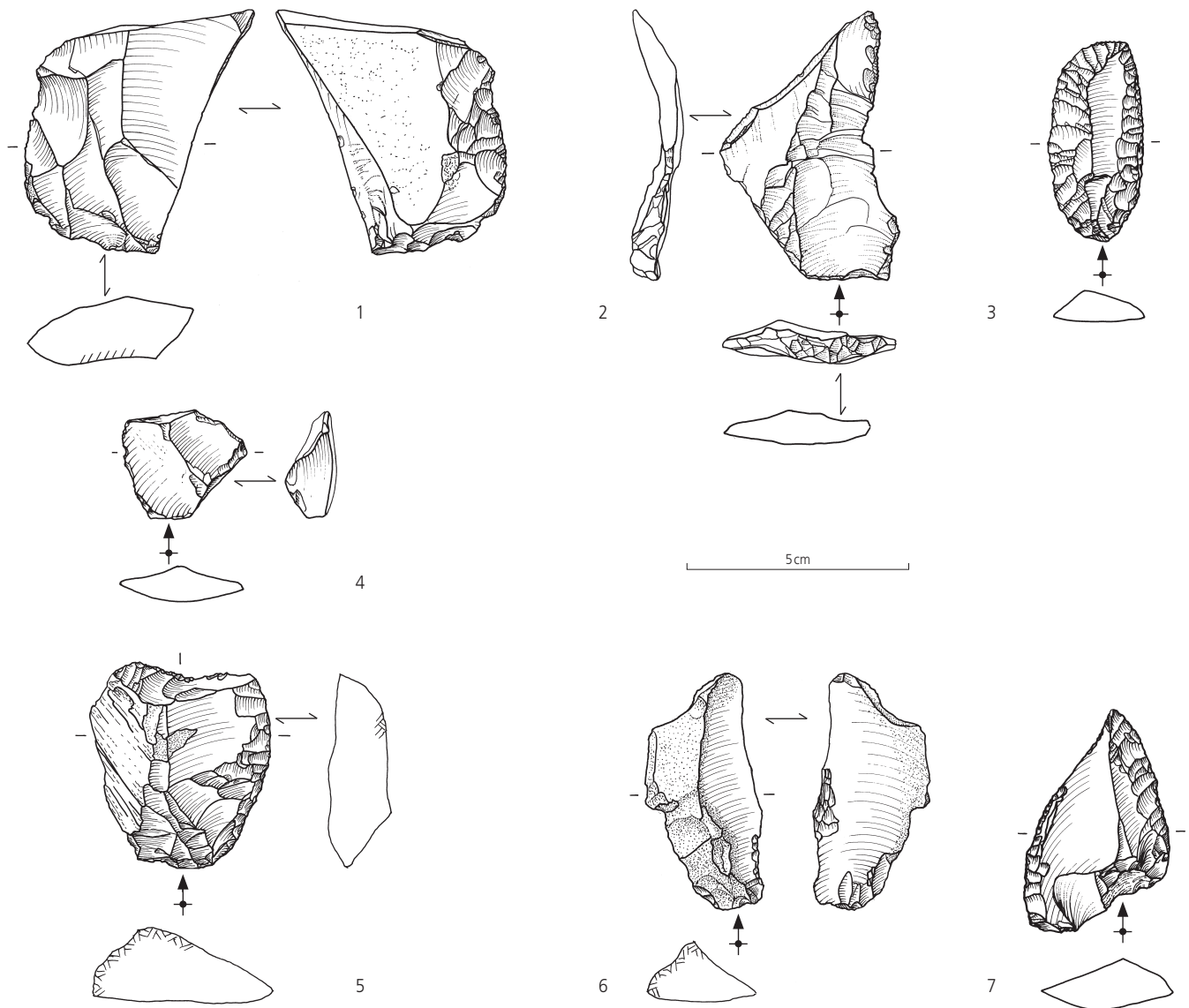


Fig. 56. Chevenez-Combe En Vaillard. 1) Levallois core (fragment); 2) debordant flake; 3) limace; 4) pseudo-Levallois point; 5) sidescraper of the type racloir déjeté d'angle; 6) sidescraper with alternate retouch; 7) double biconvexe sidescraper (drawings D. Conforti).

## 4.7 Synthesis

The taphonomic processes responsible for the accumulation of the material within the dolines strongly suggest that the lithic artefacts are contemporaneous with the faunal remains. However, the assemblages are too small (between 1 and 14 artefacts) to allow an attribution to a specific Mousterian tradition (Becker et al. 2009; Detrey 2010; Detrey 2013). Since they were recovered in secondary position and represent too low frequencies, they cannot be exploited statistically. Nonetheless, the typological and technological criteria of some pieces are sufficient to attribute the assemblages to the Mousterian and probably to *Homo neanderthalensis*. All human remains associated with Mousterian industries discovered in the archaeological sites of the Jura Mountains (Saint-Brais and Cotencher) have in deed been attributed to this species (Le Tensorer 1998). Considering the sedimentological find context in which they were recovered, it can be said that out of the 26 objects (25 flint artefacts and one hammerstone) found

in the 6 dolines in Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, 5 seem to come from the earlier period of MIS 5d-a and 21 from the early-middle part of MIS 3. The artefact collected in Courtedoux-Tchafouè is also attributed to the MIS 5d-a as well as 5 five non diagnostic small artefacts from Courtedoux-Béchat-Bovais. Three more objects (one sandstone pebble and 2 small flints) from the latter site are instead attributed to the MIS 3. Thus, the material from the dolines seems to belong to two distinct periods, a younger one dated to the early-middle MIS 3 (including Courtedoux-Vâ Tche Tchâ, Courtedoux-Tchafouè and Courtedoux-Béchat Bovais) and an older one dated to the MIS 5d-a (including Courtedoux-Vâ Tche Tchâ and Courtedoux-Béchat Bovais). These dates fit well within those proposed for other, statistically more significant, Mousterian assemblages from the Ajoie region and adjacent areas, notably major sites such as Alle-Pré Monsieur and Alle-Noir Bois (Stahl Gretsche et al. 1999; Aubry et al. 2000).



The occupations can be considered at a regional scale of the Ajoie, a territory which integrates important sites localized close to the flint sources near Alle (JU) and from which most of the artefacts were made. Moreover, the raw materials which are not from Alle are all of regional provenience, the farthest origin being Lörrach near Basel on the right side of the Rhine. The small number of artefacts trapped within the dolines suggests that the material stems from only short occupations related to hunting events. The territorial exploitation is at minimum organized between the sources of raw material exploited for the fabrication of the tools and sites dedicated to acquire animal products (Detrey 2013). The human presence in the area of the dolines, a passage for big game, is probably related to this second aspect. The few, but unmistakable, butchering marks on some bones recovered from the dolines confirm this assumption. Also, some flint artefacts bearing very sharp edges, like those found in Vâ Tche Tchâ V8 clearly indicate that the objects must stem from nearby camp-butcherings sites.

In the doline at Béchat-Bovais, three radiocarbon dates made on charcoal correspond to the beginning of the Preboreal and suggest an occupation during early Holocene. The few flint artefacts recovered may well correspond to a Mesolithic or Late Upper Palaeolithic assemblage but they seem to be associated with a layer dated to the MIS 5d-5a which would signify they are Mousterian. From a technological point of view, this attribution is however not very likely. Several Lateglacial and early Holocene sites are known from the Ajoie region. Besides the small Magdalenian occupation at Alle-Noir Bois (Othenin-Girard 2000), eleven mostly small Mesolithic assemblages stemming from open air sites were recovered during the construction of the A16 motorway (Aubry & Detrey 2008, fig. 108). None of these occupation horizons were however preserved in situ. The rockshelter Les Gripons, located near Saint-Ursanne, that was excavated between 1986 and 1989 in advance of the construction of the A16 motorway, represents instead a major regional reference sequence for the early and late Mesolithic (Pousaz et al. 1991).

## References

- Affolter J. 2002: *Provenance des silex préhistoriques du Jura et des régions limitrophes*. Service et Musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel, 341 p. (Archéologie neuchâteloise, 28, 2 vols).
- Amiot C. 1993: Analyse technologique de l'industrie lithique de Montsaugéon (Haute-Marne). *Paléo* 5, 83-109.
- Aubry D. & Detrey J. 2008: Les traces sporadiques du Mésolithique en Ajoie. In: Saltel S., Detrey J., Affolter J., Aubry D. & Montavon A.: *Le Mésolithique d'Ajoie (Jura, Suisse): les sites de Bure, Montbion et de Porrentruy, Hôtel-Dieu*. Office de la culture et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 101-109 (Cahiers d'archéologie jurassienne 19).
- Aubry D., Guélat M., Detrey J., Othenin-Girard B. et al. 2000: *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 176 p. (Cahiers d'archéologie jurassienne 10).
- Becker D., Aubry D. & Detrey J. 2009: Les dolines du Pléistocène supérieur de la combe de « Vâ Tche Tchâ » (Ajoie, Suisse): un piège à restes de mammifères et artefacts lithiques. *Bulletin de l'Association française d'étude du Quaternaire* 20, 2, 123-137.
- Deslex C., Bélet-Gonda C., Saltel S. et al. 2010: *Occupations protohistoriques à Chevenez, de l'Âge du Bronze à la fin de l'Âge du Fer: les sites de Combe En Vaillard, Combe Varu et Combe Ronde*. Office de la culture et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 260 p. (Cahiers d'archéologie jurassienne 26).
- Deslex Sheikh C., Saltel S., Braillard L., Detrey J. 2006: Le Campaniforme des vallées sèches d'Ajoie (JU): les sites de la combe En Vaillard et de la combe Varu. *Annuaire de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie* 89, 51-86.
- Detrey J. 1999a: Approches technologiques et typologiques de l'industrie lithique. In: Stahl Gretsche L.-I., Detrey J. et al.: *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 81-135 (Cahiers d'archéologie jurassienne 9).
- Detrey J. 1999b: *Les industries lithiques du site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. Université de Provence, Mémoire de DEA, 218 p.
- Detrey J. 2000: Étude technologique et typologique. In: Aubry D., Guélat M., Detrey J., Othenin-Girard B. et al. *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 108-130 (Cahiers d'archéologie jurassienne 10).
- Detrey J. 2010: Nouvelles données sur le Paléolithique moyen dans le canton du Jura (Suisse). *Revue archéologique de l'Est* 59, 7-45.
- Detrey J. 2013: Présence moustérienne dans l'arc jurassien: un état de la question. In: Richard A., Schifferdecker F. Mazimann J.-P. & Bélet-Gonda C. (dir.): *Le peuplement de l'Arc jurassien de la Préhistoire au Moyen Âge, Deuxièmes Journées Archéologiques Frontalières de l'Arc Jurassien, Actes Delle (F)-Boncourt (CH) 16-17 novembre 2007*. Presses universitaires de Franche-Comté. Office de la culture et Société jurassienne d'Émulation, Besançon-Porrentruy, 41-69 (Cahiers d'archéologie jurassienne 21).
- Évéquoz E., Eschenlohr L., Deslex C., Elyaqnine M. & Bélet-Gonda C. 2012: *Occupations du Haut Moyen Âge à Chevenez: inhumations et atelier métallurgique*. Office de la culture et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 328 p. (Cahiers d'archéologie jurassienne 27).
- Le Tensorer J.-M. 1998: *Le Paléolithique en Suisse*. J. Millon, Grenoble, 499 p. (Préhistoire d'Europe 5).
- Othenin-Girard B. 2000: L'occupation magdalénienne. In: Aubry D., Guélat M., Detrey J. & Othenin-Girard B. 2000: *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 131-155 (Cahier d'archéologie jurassienne 10).
- Pousaz N. et al. 1991: *L'abri-sous-roche mésolithique des Gripons à Saint-Ursanne (JU, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 175 p. (Cahier d'archéologie jurassienne 2).
- Rebmann T. 1999: Provenance des roches siliceuses différentes du silex. In: Stahl Gretsche L.-I., Detrey J. et al.: *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 58-73 (Cahiers d'archéologie jurassienne 9).
- Saltel S., Detrey J., Affolter J., Aubry D. & Montavon A. 2008: *Le Mésolithique d'Ajoie (Jura, Suisse): Les sites de Bure, Montbion et de Porrentruy, Hôtel-Dieu*. Office de la culture et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 185 p. (Cahiers d'archéologie jurassienne 19).
- Stahl Gretsche L.-I., Detrey J. et al. 1999: *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Émulation, Porrentruy, 312 p. (Cahiers d'archéologie jurassienne 9).



# 5

## Étude de charbons de remplissages de dolines de Courtedoux (JU)

Willy Tegel



## 5.1 Matériel

Le 15 avril 2015, vingt-quatre échantillons avec fragments de charbon ont été mis à disposition pour l'identification de l'essence du bois; les charbons étaient en général bien conservés. Leur taille moyenne n'est en revanche comprise qu'entre 1 et 20 mm de diamètre; la petite taille des fragments de charbon de bois n'a permis que dans de rares cas de dire s'il s'agissait de rameaux, de branches ou de troncs d'arbres. 225 fragments de charbons provenant de cinq dolines ont été analysés (fig. 57 et 58).

Site	Code	Doline	Fragments analysés
Courtedoux - Vâ Tche Tchâ	CTD - VTA006	V1	39
	CTD - VTA007	V6	26
	CTD - VTA006	V8	46
Courtedoux - Béchat Bovais	CTD - BBO009		76
Courtedoux - Tchâfouè	CTD - TCA007		38

Fig. 57. Liste des sites, dolines et nombre de fragments analysés.

## 5.2 Méthode

### Détermination microscopique et préparation

La détermination des charbons a été effectuée à l'aide d'une loupe binoculaire (grossissement x10 à x40), ainsi que d'un microscope à lumière incidente (grossissement jusqu'à x400 et éclairage coaxial<sup>3</sup>; cf. Schweingruber 1990). Comme ouvrage de référence pour la détermination, nous avons utilisé l'atlas descriptif de Schweingruber 1990. Dans la plupart des cas, l'attribution des échantillons s'est limitée à la détermination du genre végétal, car celle de l'espèce n'est pas réalisable pour tous les bois.

Les critères de détermination anatomique ne peuvent être observés que sur des plans de fracture, transversalement, tangentiellement et radicalement par rapport à la disposition naturelle des fibres. En ce qui concerne la préparation, l'échantillon a été fracturé à l'aide des doigts sous la binoculaire. Pour l'obtention de cassures franches, les échantillons doivent être complètement secs.

## 5.3 Résultats

Au total, 197 fragments (22 échantillons) ont été déterminés. Le spectre des essences se compose de sept taxa (fig. 2).

Nom français	Nom latin	Fragments identifiés
Fruitier à pépin	<i>Malaoideae</i>	11
Érable	<i>Acer sp.</i>	28
Pin	<i>Pinus sylvestris</i>	110
Bouleau	<i>Betula sp.</i>	15
Hêtre	<i>Fagus sylvatica</i>	11
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	8
Saule	<i>Salix sp.</i>	4
Indéterminable	<i>Indet.</i>	28
Conifère	<i>Conifer</i>	10
<b>Total</b>		<b>225</b>

Fig. 58. Glossaire et nombre de fragments identifiés.

### Doline V1 de Vâ Tche Tchâ (CTD- VTA006)

Les essences de bois ont pu être reconnues sur 30 fragments. Deux essences différentes ont pu être déterminées; il s'agit de charbons d'érable et de noisetier.

CTD-VTA006, doline V1				
N° échantillon	Taxa	Fragments	Cernes	Note
386	<i>Acer sp.</i>	28	14	
386	<i>Corylus avellana</i>	2	4	
629	<i>Indet.</i>	8		rameaux avec bourgeons
1091	<i>Indet.</i>	1		résine carbonisée

### Doline V6 de Vâ Tche Tchâ (CTD- VTA007)

Vingt-six fragments ont fait l'objet d'une analyse anatomique.

CTD-VTA007, doline V6				
N° échantillon	Taxa	Fragments	Cernes	Note
193	<i>Conifère</i>	10	7	
198	<i>Fagus sylvatica</i>	6	3	
198	<i>Pinus sp.</i>	4	2	
454	<i>Indet.</i>	1	1	
454	<i>Pinus sp.</i>	1	1	
668	<i>Pinus sp.</i>	2	1	résine carbonisée
763	<i>Pinus sp.</i>	2	1	résine carbonisée

### Doline V8 de Vâ Tche Tchâ (CTD- VTA010)

Quarante-six charbons ont pu être déterminés.

CTD-VTA010, doline V8				
N° échantillon	Taxa	Fragments	Cernes	Note
20	<i>Pinus sp.</i>	10	1	
21	<i>Pinus sp.</i>	20	3	
49	<i>Pinus sp.</i>	12	1	
50	<i>Salix sp.</i>	4	2	

### Doline de Béchat Bovais (CTD-BBO009)

Pour 76 fragments de charbons de sept échantillons analysés, seuls deux taxa ont été déterminés. La plus grande proportion (58 fragments) est occupée par les charbons de pin (*Pinus sylvestris*) (fig. 59). Le bouleau (*Betula sp.*) est également présent dans un échantillon. On rencontre déjà fréquemment les deux taxa au Tardi- et Postglaciaire.

CTD-BBO009				
N° échantillon	Taxa	Fragments	Cernes	Note
98	<i>Indet.</i>	10		
98	<i>Pinus sp.</i>	6	1	
499	<i>Pinus sp.</i>	6	1	résine carbonisée
699	<i>Pinus sp.</i>	2	2	résine carbonisée
820	<i>Pinus sp.</i>	2	1	résine carbonisée
904	<i>Pinus sp.</i>	4	2	résine carbonisée
1403	<i>Pinus sp.</i>	10	4	résine carbonisée
1412	<i>Betula sp.</i>	8	5	
1412	<i>Pinus sp.</i>	28	3	



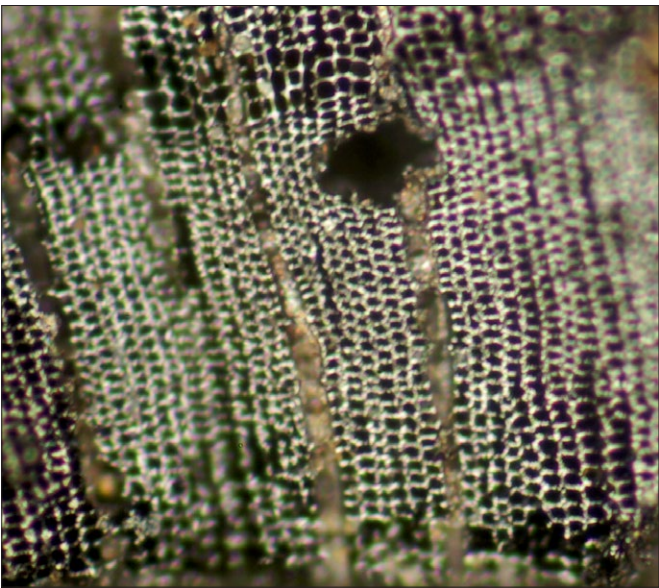


Fig. 59. Béchat Bovais (CTD-BBO009) éch. 1412. Coupe transversale d'un fragment de pin avec canal résinifère.

Doline de Tchâfoué (CTD-TCA007)

Des 38 fragments de charbons analysés, cinq essences ont été identifiées dont des échantillons de hêtre et de *Malaoideae* (fig. 60 et 61).

CTD-TCA007				
N° échantillon	Taxa	Fragments	Cernes	Note
3	<i>Corylus avellana</i>	5	4	
3	<i>Fagus silvatica</i>	4	5	
3	<i>Indet.</i>	5	3	
18	<i>Corylus avellana</i>	1	6	
18	<i>Fagus silvatica</i>	1	7	
18	<i>Malaoideae</i>	11	15	
19	<i>Pinus</i> sp.	1	2	
27	<i>Betula</i> sp.	2	5	
72	<i>Betula</i> sp.	5	4	rameaux
72	<i>Indet.</i>	3		

5.4 Conclusion

Quelques-uns des charbons trouvés ne semblent pas être en cohérence avec le contexte chronologique. Il se trouve que trois essences d'arbres ne sont documentées pour l'Europe Centrale qu'à partir de la Période Atlantique, ce qui laisse supposer que les couches contenant le charbon de bois sont plus récentes où ont été contaminées (bioturbation).

Ceci concerne surtout la présence du hêtre, de l'érable et des maloidés. Le hêtre (*Fagus silvatica*) préfère les sols meubles, riches en sels minéraux et pas trop secs. Surtout du fait de son ample tolérance aux conditions stationnelles, le hêtre est aujourd'hui l'espèce caduque la plus fréquente en Europe centrale. D'après des relevés palynologiques, le hêtre a immigré tardivement en Suisse et a atteint son maximum de répartition dans le Subboréal (Gliemeroth 1995). Les premiers indices de colonisation de zones situées au nord des Alpes correspondent à la Période Atlantique (Lang 1994). Cela concerne aussi les représentants

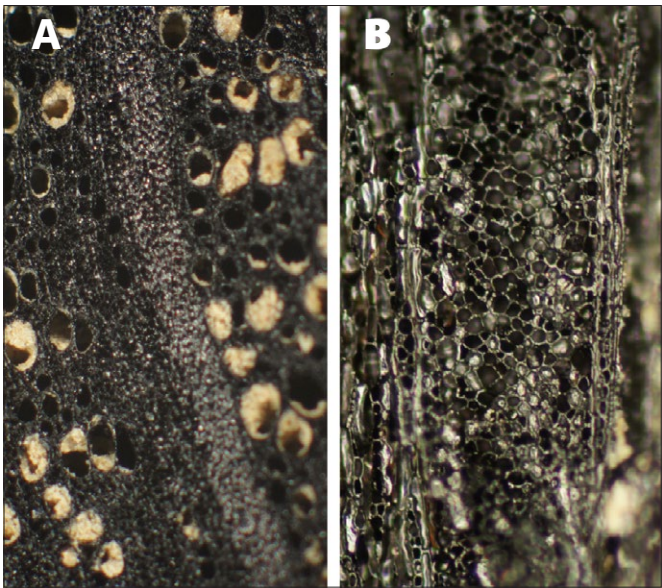


Fig. 60. Tchâfoué (CTD-TCA007) éch. 18. a) coupe transversale d'un fragment de hêtre; b) coupe tangentielle avec rayons ligneux unisériés à multisériés. Les gros rayons mesurent jusqu'à 0,5mm de largeur et 3-5mm de hauteur.

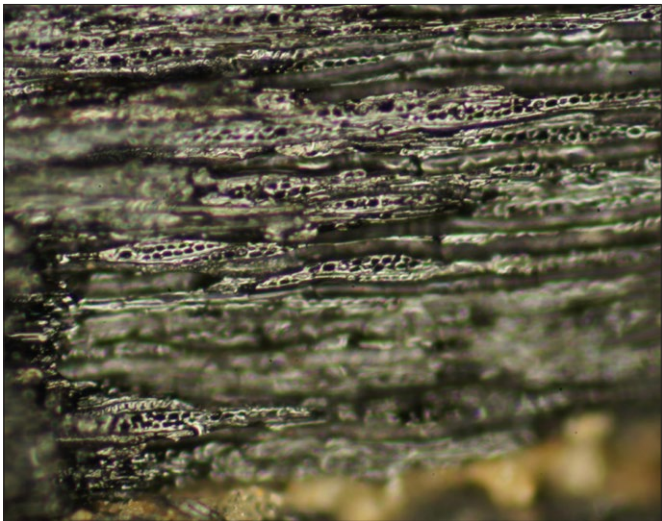


Fig. 61. Tchâfoué (CTD-TCA007) éch. 18. Coupe tangentielle d'un fragment de Malaoideae (pommiers, poiriers, sorbiers, aubépines) avec rayons ligneux bisériés.

de la famille des érables (*Acer campestre*, *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*) ainsi que les ligneux de la sous-famille des *Malaoideae* (pommiers, poiriers, sorbiers, aubépines) qu'on ne peut différencier par l'anatomie de leur bois (Schweingruber 1990). Pour le Tardi- et Postglaciaire, on ne peut pas encore envisager la présence de ces taxons.

Bibliographie

Gliemeroth A.K. 1995: *Paläoökologische Untersuchungen über die letzten 22 000 Jahre in Europa*. Fischer, Stuttgart, 252 p.

Lang G. 1994: *Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse*. Fischer, Jena, 462 p.

Schweingruber F.H. 1990: *Anatomie europäischer Hölzer. Ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer*. Haupt, Bern und Stuttgart, 800 p.

## Annexe 6 – Liste des échantillons anthracologiques

Site	Code	N° échantillon	Taxa	Fragments	Cernes	Note
Courtedoux - Vâ Tche Tchâ	CTD-VTA006	386	<i>Acer sp.</i>	28	14	
	CTD-VTA006	386	<i>Corylus avellana</i>	2	4	
	CTD-VTA006	629	<i>Indet.</i>	8		rameaux avec bourgeons
	CTD-VTA006	1091	<i>Indet.</i>	1		résine carbonisée
	CTD-VTA007	193	<i>Conifère</i>	10	7	
	CTD-VTA007	198	<i>Fagus silvatica</i>	6	3	
	CTD-VTA007	198	<i>Pinus sp.</i>	4	2	
	CTD-VTA007	454	<i>Indet.</i>	1	1	
	CTD-VTA007	454	<i>Pinus sp.</i>	1	1	
	CTD-VTA007	668	<i>Pinus sp.</i>	2	1	résine carbonisée
	CTD-VTA007	763	<i>Pinus sp.</i>	2	1	résine carbonisée
	CTD-VTA010	20	<i>Pinus sp.</i>	10	1	
	CTD-VTA010	21	<i>Pinus sp.</i>	20	3	
	CTD-VTA010	49	<i>Pinus sp.</i>	12	1	
	CTD-VTA010	50	<i>Salix sp.</i>	4	2	
Courtedoux - Béchat Bovais	CTD-BBO009	98	<i>Indet.</i>	10		
	CTD-BBO009	98	<i>Pinus sp.</i>	6	1	
	CTD-BBO009	499	<i>Pinus sp.</i>	6	1	résine carbonisée
	CTD-BBO009	699	<i>Pinus sp.</i>	2	2	résine carbonisée
	CTD-BBO009	820	<i>Pinus sp.</i>	2	1	résine carbonisée
	CTD-BBO009	904	<i>Pinus sp.</i>	4	2	résine carbonisée
	CTD-BBO009	1403	<i>Pinus sp.</i>	10	4	résine carbonisée
	CTD-BBO009	1412	<i>Betula sp.</i>	8	5	
	CTD-BBO009	1412	<i>Pinus sp.</i>	28	3	
Courtedoux - Tchâfoué	CTD-TCA007	3	<i>Corylus avellana</i>	5	4	
	CTD-TCA007	3	<i>Fagus silvatica</i>	4	5	
	CTD-TCA007	3	<i>Indet.</i>	5	3	
	CTD-TCA007	18	<i>Corylus avellana</i>	1	6	
	CTD-TCA007	18	<i>Fagus silvatica</i>	1	7	
	CTD-TCA007	18	<i>Malaoideae</i>	11	15	
	CTD-TCA007	19	<i>Pinus sp.</i>	1	2	
	CTD-TCA007	27	<i>Betula sp.</i>	2	5	
	CTD-TCA007	72	<i>Betula sp.</i>	5	4	rameaux
	CTD-TCA007	72	<i>Indet.</i>	3		



## Crédits

### Auteurs

Michel Guélat  
Julien Oppliger  
Werner Müller  
Jean Detrey  
Denise Leesch  
Willy Tegel  
Damien Becker  
Vincent Friedli

### Levers de coupe

Denis Aubry  
Ralf Krebs  
Luc Braillard  
Gaëtan Rauber  
Lucette Stalder

### Géomatique/dessins techniques

Hugues Leuenberger  
Bertrand Conus

### Illustrations

Les auteurs

### Fiches types

Définition : Jean-Paul Billon-Bruyat et Vincent Risse  
Développement : Gaëtan Rauber et Tayfun Yilmaz  
Mise en pages : Marie-Claude Farine et Vincent Friedli

Dépôt des collections et de la documentation  
Paléontologie A16, Porrentruy (jusqu'à fin 2018)  
JURASSICA Museum, Porrentruy (dès 2019)



ISSN 2504-4745  
ISBN 978-2-88436-057-9



9 782884 360579



